محاكاة الطبيعة في العمارة

تأليف: Michael Pawlyn

ترجمة: د. محمد بن سعيد العيسان الغامدي

دار جامعة الملك سعود للنشر
King Saud University Press

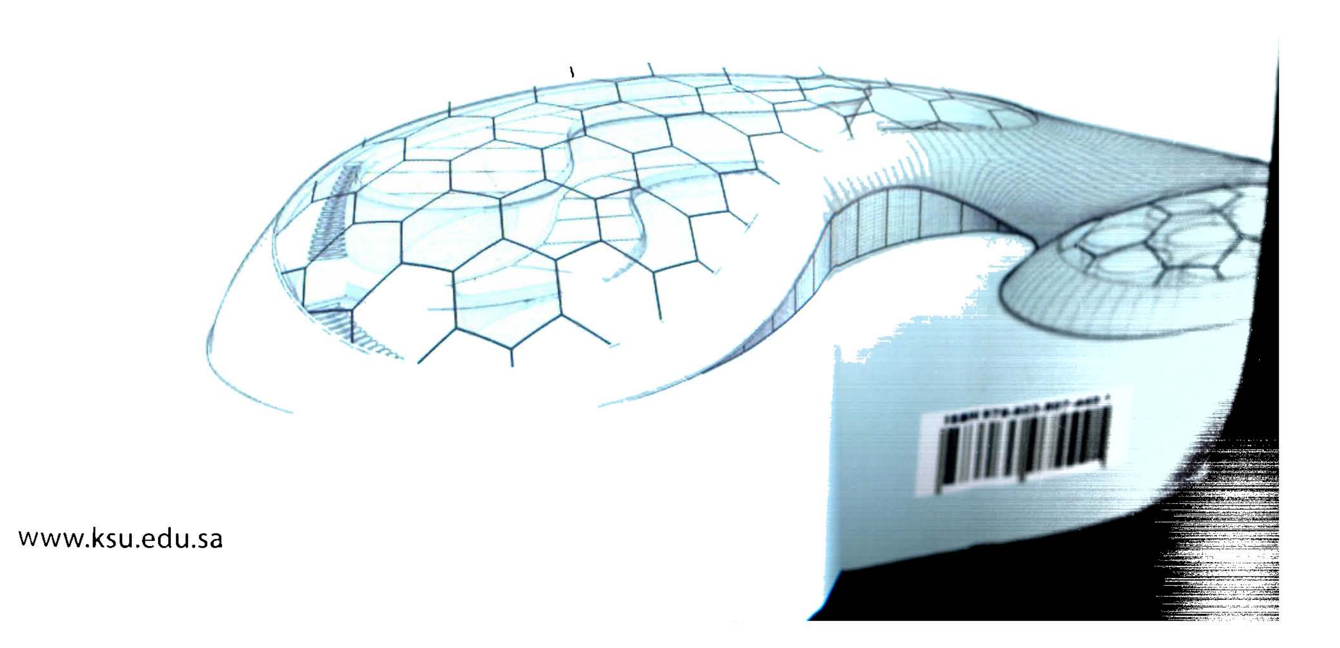
محاكاة الطبيعة في العمارة
تأليف: Michael Pawlyn
ترجمة: د. محمد بن سعيد العيسان الغامدي

١٤٣٧هـ
2016

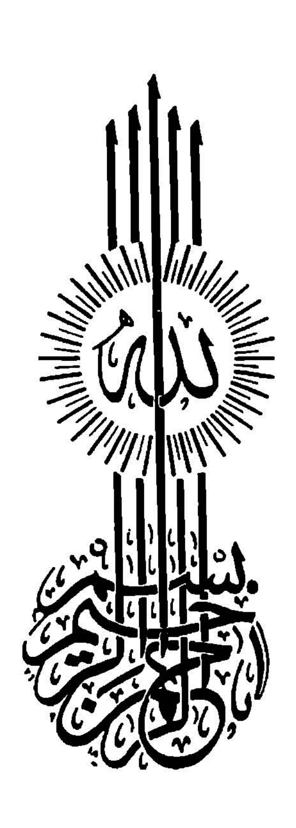
تتقدم محاكاة الطبيعة سريعا لتصبح قوة مؤثرة في العمارة والتصميم المستدام، ومنذ أمد بعيد والطبيعة مرجع يستمد منه المصممون الأشكال البصرية المثيرة، ومحاكاة الطبيعة تذهب إلى أبعد من ذلك، إنها لا تستلهم من أشكال الطبيعة فحسب ولكنها تستلهم أيضا من الوظائف المدهشة والتقنيات التي ساعدت الحيوانات والنباتات على البقاء في بيئاتها.

يكتشف كتاب محاكاة الطبيعة في العمارة تلك الأفكار ويبحث إمكانية تطبيقها في عالم الحقيقة -بدءا بكفاءة الهيكل البنائي وإنتاج مادة البناء إلى أنظمة صفرية النفايات، واستخدام المياه، والبيئة الحرارية، وإمداد الطاقة، وحتى مدن تحاكي الطبيعة. والكتاب مزود بأمثلة- تتراوح من العناكب وجلد سمك القرش إلى الشعاب المرجانية وأنظمة بيئة الغابات المطيرة، كل ذلك مع تناول الأسرار التقنية المدهشة والتحويرات التي يمكن عملها، ومن ثم تطبيقها في مجال العمارة والمنتجات المعاصرة.

وبصفة عامة: يعد كتاب محاكاة الطبيعة في العمارة مقدمةً لفكرة ثورية، وكتاباً مرجعياً لحلول تصميمية يساعدنا في مواجهة تحديات البناء لمستقبل متجدد ومستدام.



www.ksu.edu.sa


الله
بسم الله الرحمن الرحيم

محاكاة الطبيعة في العمارة

تأليف:

Michael Pawlyn

ترجمة:

د. محمد بن سعيد العيسان الغامدي



ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
الغامدي، محمد بن سعيد العيسان
محاكاة الطبيعة في العمارة. / محمد بن سعيد العيسان
الغامدي. - الرياض، ١٤٣٦هـ
١٤٠ ص، ١٨,٩ × ٢٤,٦سم
ردمك: ١-٢-٤٤٢-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨
١- العمارة - تعليم ٢- التصميم المعماري ٣- الطبيعة أ.العنوان
ديوي ٧٢٠ ١٤٣٦/٨٢٠٢

رقم الايداع: ١٤٣٦/٨٢٠٢

ردمك: ١-٢-٤٤٢-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

BIOMIMICRY IN ARCHITECTURE By: Michael Pawlyn.

وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه العشرين للعام الدراسي ١٤٣٥/١٤٣٦هـ المعقود بتاريخ ٢١/٨/١٤٣٦هـ الموافق ٨/٦/٢٠١٥م.



مقدمة المترجم

تقف العمارة شاهداً على تعاقب العصور والأزمنة ومؤشراً للحالة التقنية والاجتماعية والسياسية والفكرية والثقافية والبيئية والاقتصادية لكل عصر. ويلاحظ المتتبع لفن العمارة التوجهات التي تدفع بهذا الفن والعوامل التي تبحر به في توجه دون آخر، ولقد شهد العالم - وما زال - توسعاً هائلاً في نمو المدن، كما شهد في الوقت نفسه طلباً حاداً على الموارد الطبيعية والبيئية المحدودة جداً، وهو الأمر الذي شجع على التفكير في عمارة مستدامة تلبي احتياجات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة في تلبية احتياجاتهم.

ويعد توجه التعليم المعماري الحديث نحو العمارة المستدامة والعمارة البيئية والعمارة الخضراء محاولةً لدفع الجيل القادم من المعماريين نحو التعامل الأكثر وعياً بالطبيعة والأكثر اهتماماً بترشيد استهلاك الطاقة في المباني بل أكثر من ذلك في محاولة أن تكون المباني مصدراً إضافياً للطاقة بدلاً من أن يكون المبنى مصدراً مستهلكاً للطاقة. واستفاد علم العمارة من العلوم والفنون الأخرى وتزاوج معها في محاولة للبحث عن حلول عملية للمشاكل العمرانية سواء كان ذلك على مستوى المدن أو على مستوى المباني، ودليلاً على ذلك فإن التطور الذي شهده العالم في الآونة الأخيرة خصوصاً في مجال تقنية النانو مكّن من اكتشاف أنظمة وحلول عمرانية لم تكن تخطر على بال أحد من قبل.

والعمارة من خلال محاكاة الطبيعة مدرسة جديدة قادمة بقوة ولها أثر واضح في توجيه العمارة المستدامة نحو آفاق جديده ستترك أثراً واضحاً ليس على مستوى أشكال المباني فحسب، ولكن أيضاً على مستوى الحلول الوظيفية والتقنية والإنشائية. ويتناول كتاب «محاكاة الطبيعة في العمارة» كيف يمكن استلهام حلول عمرانية عملية وواقعية من البيئة النباتية والحيوانية؟ وكيف يمكن البحث عن حلول إنشائية أكثر كفاءة وأقل استهلاكاً للطاقة وأقل كلفة اقتصادية؟ وكيف يمكن تصميم أنظمة بدون نفايات وأكثر ترشيداً في استهلاك المياه وأكثر كفاءة في استهلاك الطاقة؟

وقد انفرد الإسلام عن غيره من الأديان في بعث دوافع التأمل والتفكر في خلق الله تعالى من حولنا، ليس من أجل التعلم فحسب ولكن أيضاً للوصول إلى حقيقة الخالق والمدبر جلَّ في علاه. وتعد مهنة العمارة من أقدم المهن التي عرفها الإنسان، بل إن عمارة الأرض- بمفهومها المادي ومفهومها المعنوي- هي أحد أهم أسباب وجود الإنسان على الأرض وأحد واجباته الأساسية.

تمهيد: بقلم جوناثن بوريت

يوم ينظر المؤرخون إلى مسيرة القرن العشرين ويفحصون بموضوعية حقيقة الاستدامة في النصف الثاني منه؛ فإن سؤالاً يبرز للذهن وهو لماذا لم نبذل إلا القليل في جانب "الحياة المستدامة" في النصف الثاني من ذلك القرن؟ لم يكن ذلك بسبب قلة المعرفة فقد كنا نملكها، ولم يكن ذلك بسبب ضعف التقنية؛ لأنه كان يمكن أن نطورها. لقد كنا لا إرادياً متأثرين بأحلام ما بعد الحرب العالمية التي تزعم بأن الغذاء والطاقة مصدران لا يمكن أن ينضبا أبداً، لقد كنا ببساطة لا نبالي ولا نهتم بأن نعيش حياة مستدامة.

وبصورة عامة؛ كنا نتبع نموذجاً اقتصادياً عالمياً يعتمد نموه على الاستهلاك الجائر دون مراعاة لما يقع على البيئة من أضرار، بل كنا نرى ذلك الضرر ونقبل به مع التسليم بأن ذلك ضرورة حتمية من أجل النمو.

ولكن وياللسعادة يبدو وبعد عقود كئيبة أن العالم استيقظ مؤخراً من غطرسة تدمير البيئة. لقد تبدد وهم "موارد الأرض غير المحدودة" وظهرت الحقيقة الماثلة للعيان بحتمية نقص الموارد، وبدأ الناس لا يخفون قلقهم تجاه مواضيع مثل: "ذروة النفط" أو تناقص إمدادات المواد الخام الأساسية.

إن تلك الأحلام التي كنا أسرى لها والتي حرضتنا يوماً ما للاعتقاد بأن استنزاف الطبيعة هو أفضل طريق لنمو البشرية؛ قد حلَّ مكانها اليوم فهمٌ أكثر ذكاءً يؤمن بأهمية التوازن والتعامل بالمثل بين الإنسان وكل شيء حي من حوله.

إن هذا المجهود العلمي المميز – محاكاة الطبيعة في العمارة – لميشيل باولاين يثير الفضول ويفتح الطريق للبحث عن تحقيق ذلك التوازن الجديد والمنشود بين الإنسان وما حوله. لقد عرَّف المؤلف فكرة "محاكاة الطبيعة" بأنها محاكاة الوظائف الأساسية للتكوينات البيولوجية وكل ما يتم من عمليات وأنظمة من أجل الخروج بحلول مستدامة، لقد أخذنا المؤلف في جولة نكتشف من خلالها إمكانية محاكاة العمارة للطبيعة، ولم يكتفِ بذلك فقط بل عرض علينا أيضاً حالات دراسية تفصيلية معمارية توضح بجلاء إمكانية تحقيق ذلك.

لقد خرجت بانطباع خاص عند قراءة الكتاب: إن ما هو قائم على أرض الواقع من مشاريع تحاكي الطبيعة يشير بوضوح إلى مستقبل واعد. إن محاكاة الطبيعة تزداد رسوخاً يوماً بعد آخر في مجالات التصميم الداخلي، والهندسة والتصنيع، حتى في عالم الطب والموضة. لكن مهنة العمارة ما زالت تسير ببطء في تبني المبادئ الأساسية لمحاكاة الطبيعة في المناهج التعليمية دع عنك في الممارسة المهنية.

ويعزو كثير من المعماريين المعاصرين ذلك البطء إلى قصور عملائهم عن تخيل عمارة تحاكي الطبيعة، ولكن القضية أكبر من ذلك بكثير، فقلة من المعماريين وظفوا مهاراتهم المهنية ومكانتهم الاجتماعية لمساعدة الآخرين للعيش في مبانٍ وفراغات مستدامة تتناسب مع متطلبات حياتهم في أعمار مختلفة.

ويشعر ميشيل باولن بوضوح بذلك الإحباط لكنه مقتنع أن المعماريين اليوم أكثر وعياً من ذي قبل وأن عليهم فعل الكثير



المقدمة

لن تغير وضعاً قائماً بمجرد مقاومته.
عليك أن تفرض وضعاً جديداً يجعل ما هو قائم عديم الفائدة.
رتشارد بوكمنستر فوللير

يطرح هذا الكتاب حلولاً تعلمناها من نبع ثرٍّ من الأفكار التي تطورت عبر حقبة زمنية طويلة استغرقت ما يقارب ٣,٨ بليون سنة تعرفنا من خلالها إلى أنواع من المخلوقات الحية التي عاشت وتعايشت بنجاح على سطح الأرض بل طورت تقنيات لا تقل أهمية عن تلك التقنيات التي اخترعها الإنسان نفسه، بل في حالات كثيرة تتفوق عليها في أنها حلت مشاكل مماثلة في التعقيد ولكنها أكثر كفاءة من الناحية الاقتصادية. نعم، لقد حقق الإنسان إنجازات مذهلة في مجال الطب الحديث والثورة الرقمية، ولكن حين نتأمل في تأقلم الكائنات الحية الفريدة من نوعها؛ نشعر أن علينا تعلم كثير من تلك الكائنات.

هناك في اعتقادي ثلاثة أمور يجب أن تتغير إذا ما أردنا تحقيق مشروع ضخم للبشرية، وهي: الرفع من كفاءة الموارد، والتحول من اقتصاد الوقود الأحفوري إلى اقتصاد الطاقة الشمسية، والتحول من النموذج القائم في التخلص من التلوث والنفايات - أو ما يعرف بالنموذج الخطي - واستبداله بالنموذج الدائري المغلق الذي يمنع توليد النفايات ويساهم في المحافظة على نظافة الموارد. إنها مهمة صعبة. ولكن خير بداية لاكتشاف الحلول هو في محاكاة الطبيعة.

العمارة وعالم الطبيعة

ما من شك أن المعماريين وعبر التاريخ استلهموا من الطبيعة أشكالاً للمباني وأفكاراً للديكور، لكن هذا الكتاب يتناول موضوع "الطبيعة بوصفها مصدرَ إلهام» من زاوية مختلفة عن غيره من المراجع. ويرمي الكتاب إلى التعرف إلى أساليب تعايش الكائنات الحية وتأقلمها مع الطبيعة، ومن ثم تحويل تلك الأساليب إلى حلول معمارية. وإن العالم اليوم يدخل عصراً جديداً هو العصر الأيكولوجي (البيئي) ويزعم هذا الكتاب أن هناك دروساً كثيرةً يمكن أن نتعلمها من الطبيعة تساعدنا في خوض غمار ذلك العصر الجديد.

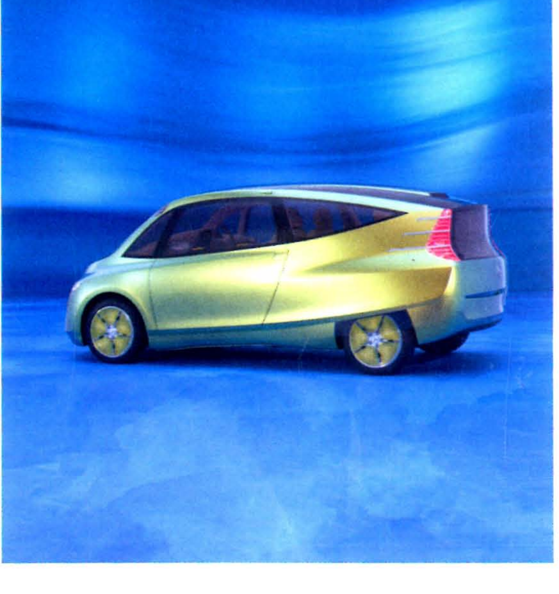
يمكن اليوم النظر إلى "عصر الثورة الصناعية» الذي يمكن تسميته أيضاً بـ «عصر الوقود الأحفوري» على أنه أبعد ما يكون عن تلك العصور التي تعايش فيها الإنسان مع الطبيعة واستلهم منها الحلول والعبر. وشجع وفرة الوقود الأحفوري وانتشاره على هدر الموارد وتحقيق نمو عديم الكفاءة، وفي ظل تلك الوفرة ضاعت كل الجهود للاستفادة من الطبيعة وضاعت كل المحاولات لصياغة مدخل بيئي للتصميم والتصنيع. أما الآن وبعد أن ظهر جلياً للعالم حماقة ذلك العصر الذي أضاع مخزون آلاف السنين من الكربون؛ فهناك فرصة واعدة لاكتشاف فعالية الكائنات الحية وتعايشها مع الطبيعة. هناك حلول يجب أن نتعلمها من الطبيعة لكل المشاكل التي نعيشها تقريباً - سواء كانت في إنتاج الطاقة أو إنتاج الماء النقي أو صناعة مواد مفيدة لقد كان إعجاب الإنسان بالطبيعة أمراً فطرياً منذ وجوده على الأرض، واليوم لدينا فرصة لتكرار ذلك والاستفادة من علم الأحياء في ضوء ما توفر لدينا من رصيد معرفي أكثر ثراءً وأدوات بحث أكثر تقدماً وإحساس جميل غير مكبل بقيود تاريخية، إنها فرصة نادرة للمصممين قلما تتكرر.

ويعتمد معظم المناهج المعاصرة في العمارة البيئية والعمارة المستدامة على منهجية تخفيف الآثار السلبية على الطبيعة، لكن الأمثلة التي يعرضها الكتاب تذهب إلى أبعد من

١. كوكول ليتوفور(كائن بحري دقيق) يصنع هيكله الخارجي من كربونات الكالسيوم باستخدام عناصر موجودة في مياه البحر ويعتقد أن ذلك جزء من دورة الكربون طويلة المدى على الكرة الأرضية. وعبر عصور جيولوجية كانت تحدث زيادة في مستوى ثاني أكسيد الكربون بالغلاف الجوي، يقابل ذلك زيادة في إنتاج كائنات الكوكوليتوفور في البحار، وبعد موتها تسقط في قاع المحيط مكونة طبقات من الحجر الجيري، وهكذا يتحول الكربون من الغلاف الجوي إلى الغلاف الصخري.



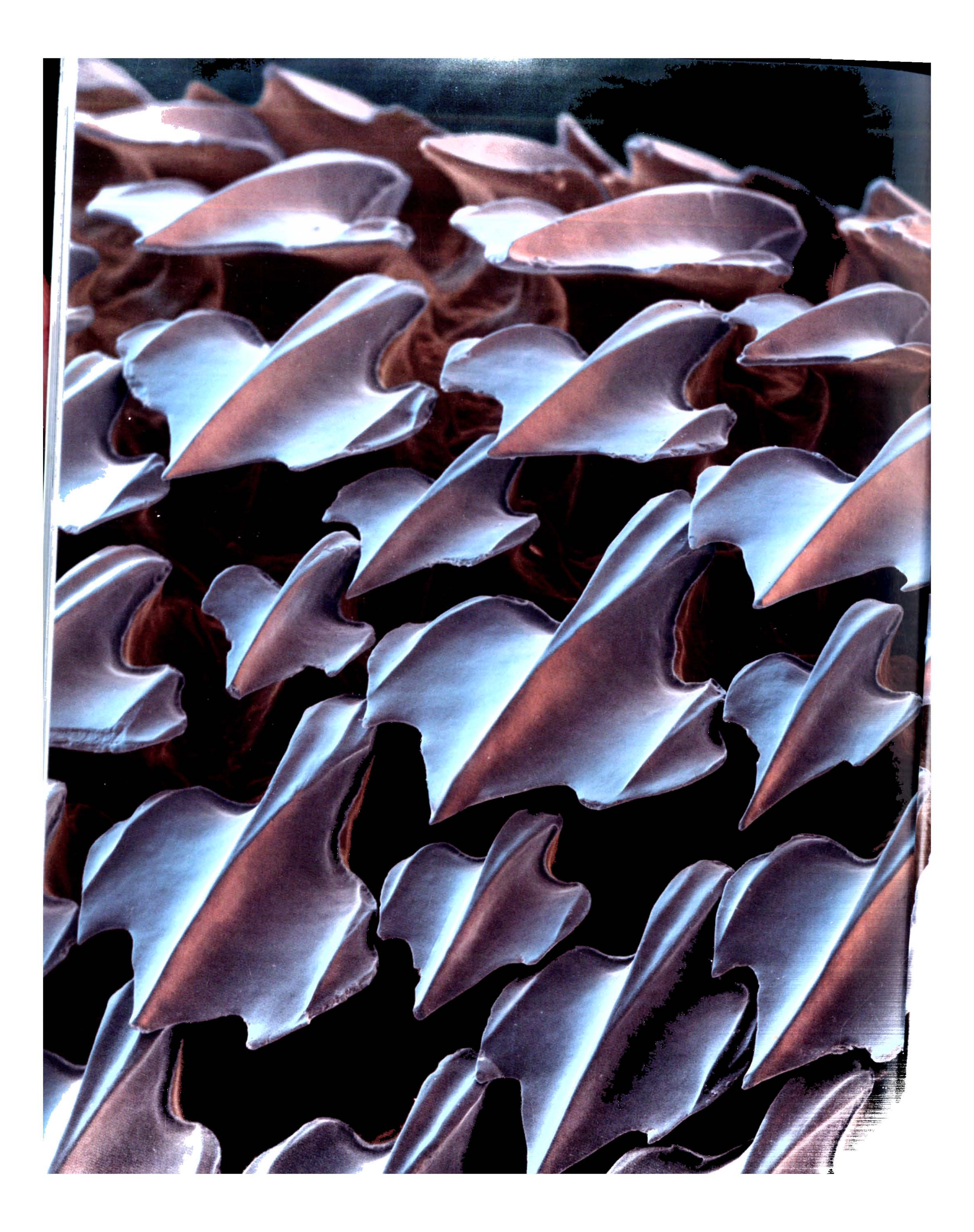


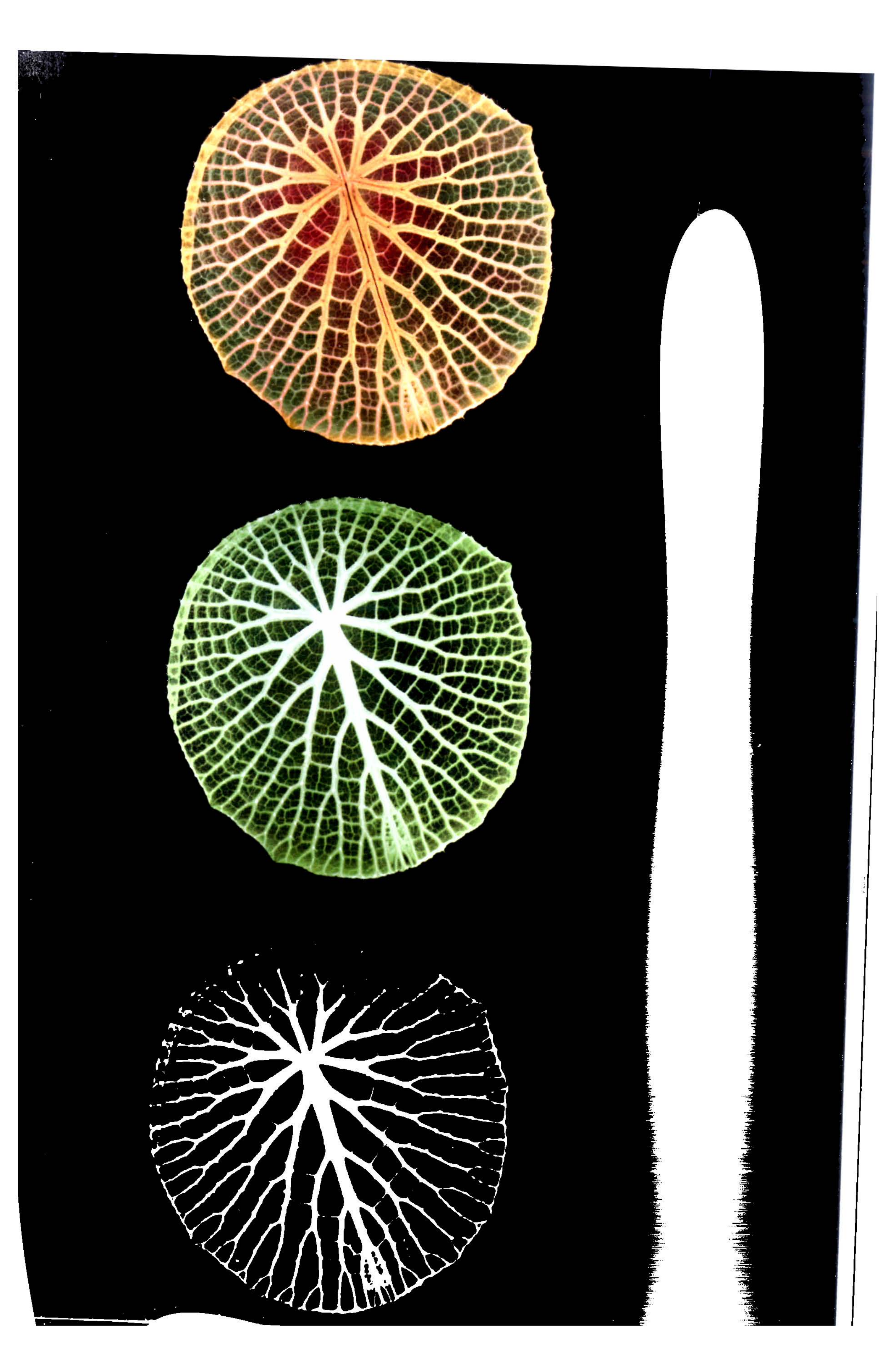


٧. السمكة المضلعة.

بالرغم من شكلها المكعب؛ تتميز السمكة المضلعة بانسيابية الشكل مع تيار الماء وهو ما ينتج معامل سحب ضعيف، وهي الميزة التي ألهمت مصممي سيارات مرسيدس الجديدة.

٩. أسماك القرش وغيرها من الأسماك ذات الخياشيم المصفحة تمتلك جلدا شوكيا خشنا (كما توضحه الصورة الملتقطة بواسطة المسح الضوئي للمجهر الإلكتروني المكبر والذي يظهر بدقة شوكاً بجلد كلب البحر) والذي ربما بدوره يوفر أسطح أكثر مرونة مع تيار الماء. وهذا هو السبب الذي دعا الاتحاد الدولي للسباحة لمنع ملابس السباحة الجديدة التي تحاكي جلد سمك القرش؛ وذلك لأنها تمكن السباحين التحرك بسرعة أكبر في الماء.





كيف نبني منشآت أكثر كفاءة؟

يمكن تلخيص معظم هذا الفصل بجملة واحدة قالتها جوليان فنسنت عن عالم الطبيعة: «المواد أغلى والشكل أرخص»، بينما العكس صحيح في عالم التكنولوجيا [٩]. تستهلك الطبيعة المواد بطريقة اقتصادية جداً، ويتحقق لها ذلك عن طريق الإبداع في تكوين الأشكال. صنعت الكائنات الحية أشكالاً فعالة ذات كفاءة مدهشة واستخدمت لذلك وسائل إنشائية مثل: الثني، والتحدب، والتضلع، والانتفاخ، وأمثلة ذلك من الطبيعة كثيرة ويمكن أن تكون مصدر إلهام لأفكار إنشائية أكثر فعالية عما صنعه الإنسان في مجال العمارة.

لماذا توفر الطبيعة في استهلاك المواد؟ إنها متطلبات البقاء على قيد الحياة مثل: البحث عن الرزق، والتكيف الحراري، والتزاوج، والخوف من الافتراس، بالإضافة إلى جوانب عدة أخرى ساهمت عبر زمن طويل في صقل التكوينات الإنشائية الطبيعية وتطويرها وإعادة تركيبها وإيجاد طفرة جينية. ويظل التغيير مستمراً طالما استمرت الحياة، لكننا نلحظ أن أفضل التكوينات الإنشائية هي تلك التي تطورت خلال بقائها عمراً طويلاً على الأرض. إذن حين نرفع شعار «استهلاك أقل للمواد - كفاءة أفضل في التصميم»؛ سنكتشف أمثلة لا حصر لها توضح أن الاستهلاك الأقل للمواد يرفع كفاءة التصميم.

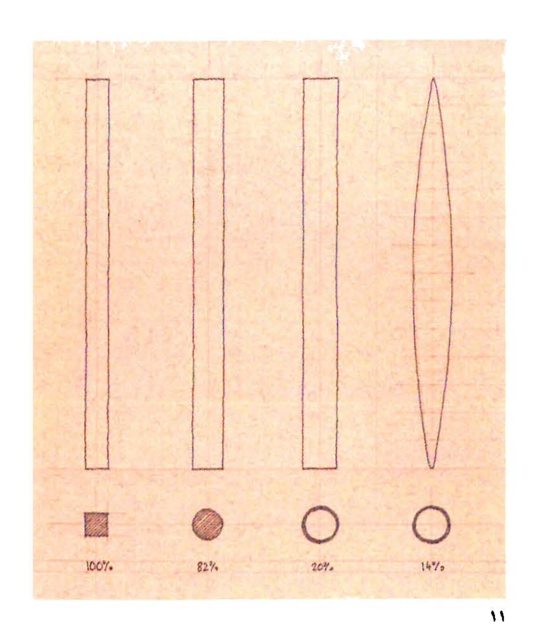
١٠. صورة أشعة سينية لورقة زنبقة الماء على نهر الأمازون توضح كيفية تكوين هياكل قوية في الطبيعة باستهلاك مواد قليلة. تدعم شبكة التضليعات مساحة الورقة الكبيرة أعلاها دون الحاجة لسماكة إضافية.

١١. رسم يوضح أربعة عناصر إنشائية متساوية في المتانة لكنها مختلفة في درجات الكفاءة. بإحداث تغيير في الشكل وتوزيع المادة حيث يجب أن تكون، أمكن استخدام ١٤٪ فقط من المواد المستخدمة في المقطع المربع المصمت. (بتصرف بعد أدريان بوكيرس و إد فان هينتي، خفة الوزن - نهضة لا مفر منها لهياكل إنشائية أقل استهلاكاً للطاقة).

التحول البسيط للمواد إلى عناصر إنشائية:

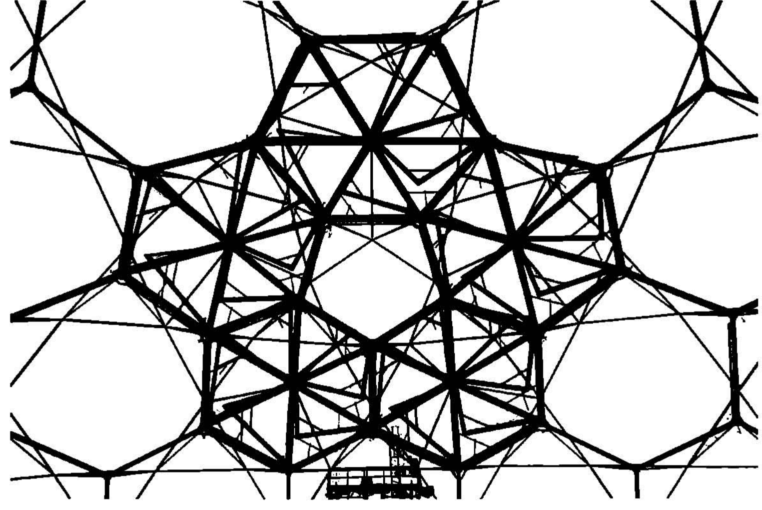
لو أخذنا مقطعاً مربع الشكل لمادة مصمتة بطول ضلع قدره ٢٤ ملم (الشكل ١١)؛ فإنه سيبذل مقاومة انحناء مساوية لمقاومة انحناء مقطع دائري الشكل بقطر قدره ٢٥ ملم، ولكن الفرق أن المقطع الدائري يستهلك ما يقارب ٨١,٧ بالمائة فقط من المادة المصمتة[١٠] المقطع الدائري لأنبوبة مجوفة يستهلك ٢٠ بالمائة فقط من المادة مقارنة بالمقطع المصمت مربع الأضلاع في حين أنه يحقق صلابته نفسها. التفسير الهندسي لما سبق هو أن المادة قد أزيلت من الأجزاء القريبة من محور الجسم وأضيفت إلى الأجزاء التي تتيح مقاومة أكبر للانحناء، محققة بذلك النتيجة نفسها ولكن باستخدام أقل للمادة.

الطبيعة غنية بأمثلة تستهلك موادَّ أقل، ومن ذلك: العظام المجوفة، والسيقان النباتية، وريش الطيور. أحد أفضل الأمثلة



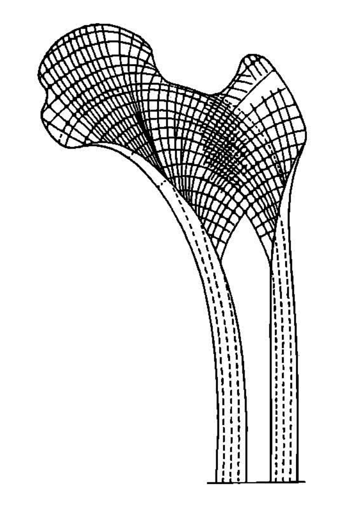
١١

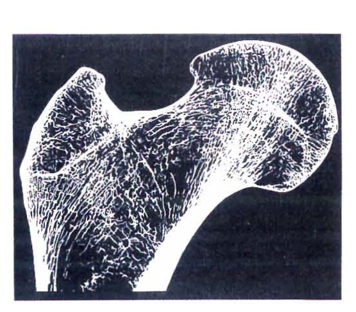


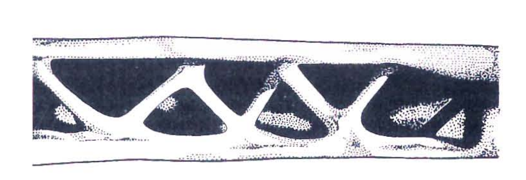


التوضيحية هو سيقان الخيزران الذي ينمو حتى ارتفاع ٤٠ متراً، ويتم تقوية مقطعه الدائري المجوف عبر نتوءات منتظمة تعمل بوصفها دعامات داخلية (الشكل ١٢). ولا يتحمل الجسم الأنبوبي قوى الضغط في اتجاه واحد وينهار للداخل نحو المحور، وهو ما يؤدي إلى انبعاجه، لكن وجود نتوءات منتظمة تزيد من مقاومة الجسم وتعالج هذا الضعف الإنشائي، وتلك هي السمة الإنشائية المميزة في سيقان الخيزران. لكن لماذا لا تكون سيقان الأشجار مجوفة كالخيزران؟ حسناً، سيقان الخيزران ناجحة جداً من الناحية الإنشائية لكنها من ناحية تصنيفية تبقى نوعاً من أنواع الحشائش. تختلف الأشجار عن الحشائش في أنها تحمل تاجاً من أغصان ممتدة مقارنة بالحشائش فهي سيقان متراصة بجانب بعضها. سنعود إلى جذوع الشجر وكونها مصمتة وأن ذلك يظهر متناقضاً للوهلة الأولى مع قاعدة أن الطبيعة تستهلك مواداً أقل.

في حين أن الخيزران يجسد بوضوح هندسة الإنشاء للأشكال الأنبوبية، فإن العظام أكثر تعقيداً من الناحية الإنشائية؛ لأنها تتحمل قوى غير منتظمة وتفرغها مباشرة نحو الأرض. ويوضح الشكل (١٤) خطوط قوى الإجهاد في عظمة فخذ، ويوضح الشكل (١٥) صورة الأشعة السينية للعظمة نفسها. ونرى في الشكلين تطابقاً تاماً بين خطوط كثافة العظام







وخطوط قوى الإجهاد، فحيث يكون الإجهاد أقوى، تنتشر مادة العظم بصورة أكثر كثافة، وحيث لا يوجد إجهاد يوجد فراغ. هناك أمثلة أكثر دهشة من ناحية التصميم الإنشائي المعقد الذي يجمع بين خفة الوزن وتوفير أكبر مقاومة للإجهادات. لقد وثق العالم دارسي تومسون في كتابه "النمو والشكل" تشابهاً بين تشريح العظام الطرفية لجناح النسر (الشكل ١٦) والجائز الإنشائي المعروف "بجائز وارين"* في استخدام دعامات وأربطة تملأ فراغاً إنشائياً مدعوماً بواسطة وترين في أعلى الفراغ وأسفله.

التحول إلى أسطح إنشائية مستوية:

أبسط الطرق لتحويل السطح المستوي إلى شكل يوفر فراغاً للحماية هو في لفه بطريقة مشابهة لطريقة اليرقة عند لفها ورقة نبات الكرز والاختباء بداخلها حتى تكتمل مراحل نموها. استخدم شوهي إندو طريقة مشابهة حين صمم مبنى دورات مياه عامة في حديقة سينقو تشو باليابان (الشكل ١٧) فقام بلف صفيح مستو ليشكل متتابعة من الفراغات البسيطة إلا أنها لم ترتقِ بعدُ إلى طريقة لف اليرقات.

١٢. النتوءات المنتظمة في سيقان الخيزران تعمل على تقوية جدرانه الداخلية على عكس الطريقة المعتادة في تصميم الهياكل الأنبوبية التي تؤدي إلى فشل مثل انهيار الجدران نحو المركز ومن ثم انبعاج كامل الأنبوب.

١٣. وحدة إنشائية على شكل "مسدس –مثلث – مسدس" تم تكرارها في مشروع عدن وصممها في الأساس ماكس مينجيرنفوسين الذي استلهم الشكل من تصميم سيقان الخيزران ذي النتوءات المنتظمة.

١٤. شكل يوضح خطوط قوى الإجهاد في عظمة فخذ.

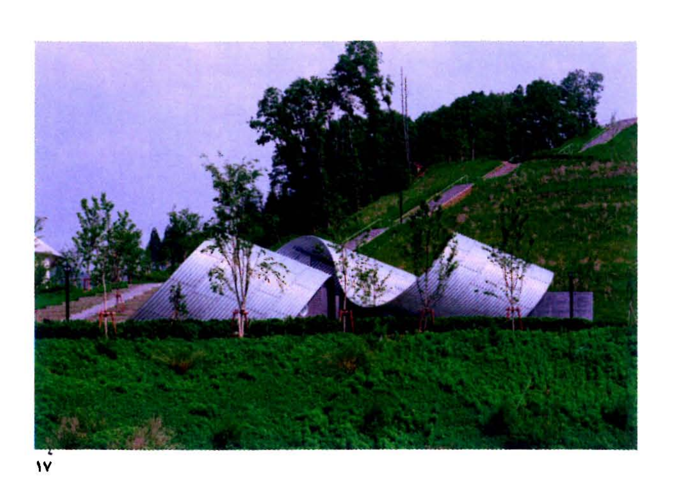
١٥. صورة أشعة سينية لعظمة توضح توزيع كثافة مادة العظم.

١٦. على الطيور أن تكون خفيفة الوزن لتتمكن من الطيران، التصميم الإنشائي للعظام الطرفية في جناح النسر غاية في الخفة والفعالية ويماثل الجائز الإنشائي المعروف "بجائز وارين"

١٧. مبنى دورات مياه عامة في حديقة سينقو تشو باليابان من تصميم المعماري شوهي إندو يوضح تحويل صفيح مستو إلى محتوى فراغي.

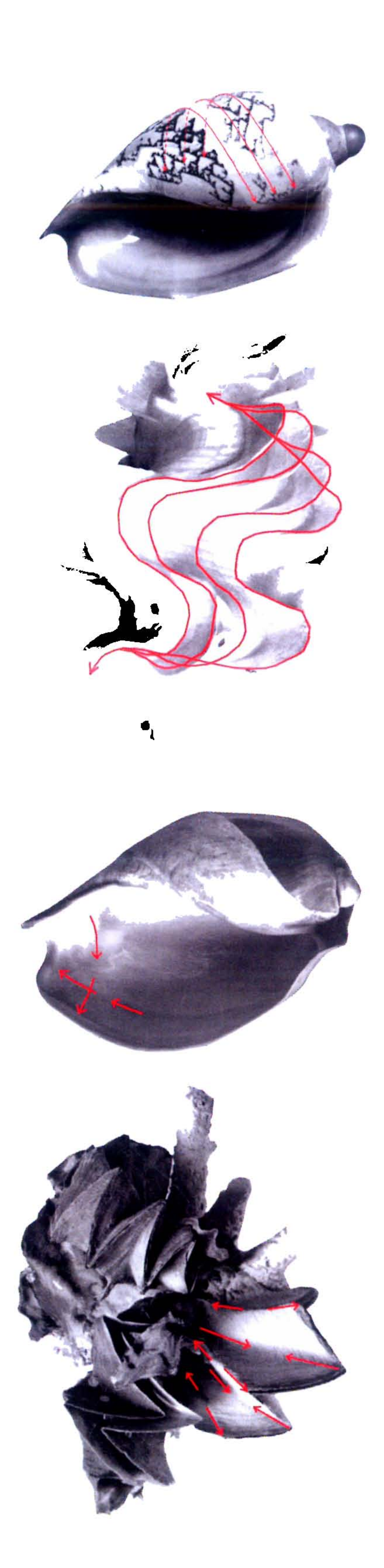
في عالم النبات يوجد طرق كثيرة لزيادة المسطحات اللازمة للتمثيل الضوئي من أجل استقبال الضوء لكن دون زيادة في سمك الأوراق الكبيرة؛ لأن ذلك لن يجدي شيئاً. من أجل ذلك تم دعم وتقوية المادة الرقيقة لورق النباتات من خلال المنحنيات والطيات. ورقة شجرة الماغنوليا الجنوبي- مثلاً- منطوية في المنتصف ومنحنية عند الأطراف وهو ما يساعد في تقوية الورقة. وفي مناطق الأمطار الاستوائية تقل كمية الضوء بالقرب من مستوى أرضية الغابة؛ لذلك تكون الأوراق كبيرة على شكل مروحة مطوية.

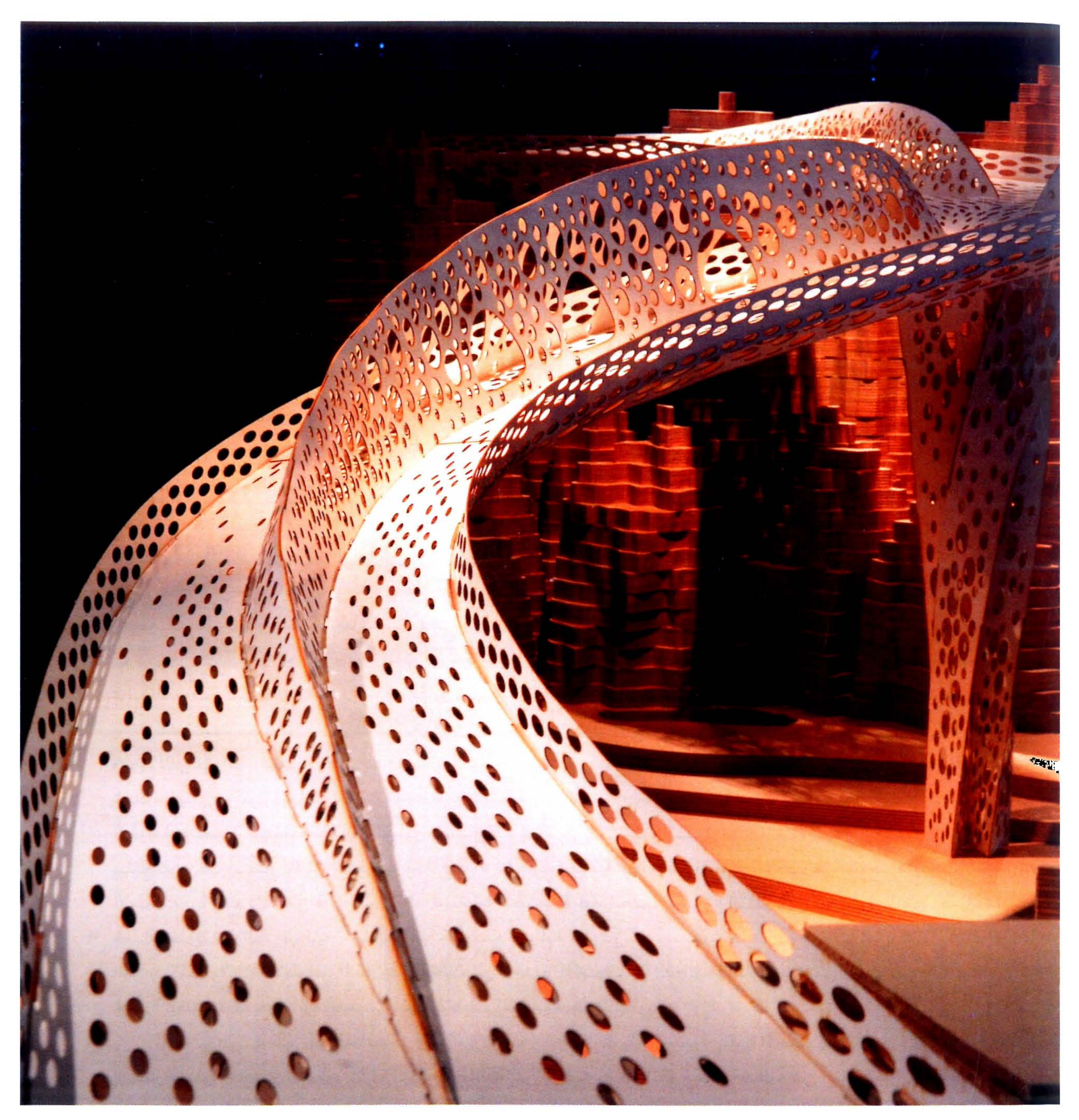
واستلهم المعماري تونكين ليو بالاشتراك مع المهندس الإنشائي إد كلارك من شركة أروب من قواقع البحر أشكالاً وتقنيات ساعدتهما في تطوير أشكال إنشائية جديدة عن طريق تطويع الأسطح المستوية سمياها "البناء القشري المثقب" (الشكلان ١٨ و ١٩). كما هو الحال تماماً في النظام الإنشائي للرخويات، يستمد السطح المستوي الرقيق جداً قوته من خلال التوظيف المشترك للمنحنيات والطيات والأضلع. تم إصدار برنامج حاسوبي جديد للتحليل الإنشائي يمكن بواسطته تحديد أجزاء البناء الأقل إجهاداً وإضافة ثقوب عليها من أجل تقليل كمية مادة البناء المستخدمة، فيخرج المنتج النهائي في حالة إنشائية أنيقة جداً، ويستهلك البناء أقل ما يمكن من المواد، ويستمد قوته الإنشائية من شكله لا من كتلته.



* نظام إنشائي يستخدم في تصميم أجنحة الطائرات والجسور.







١٨. أشكال من تونكين ليو –معماريون توضح كيفية تحليل قواقع البحر إلى مبادئ إنشائية.

١٩. جسر شي لينج من تصميم المعماري تونكين ليو بالاشتراك مع المهندس الإنشائي إد كلارك من شركة أروب؛ مثال للبناء القشري المثقب الذي حقق استهلاكاً أقل للمواد من خلال توظيف مشترك للمنحنيات والطيات والأضلع.

حالة دراسية:

المنشآت واسعة البحور من أعمال المعماري بيير لويجي نيرفي (Pier-Luigi Nervi):

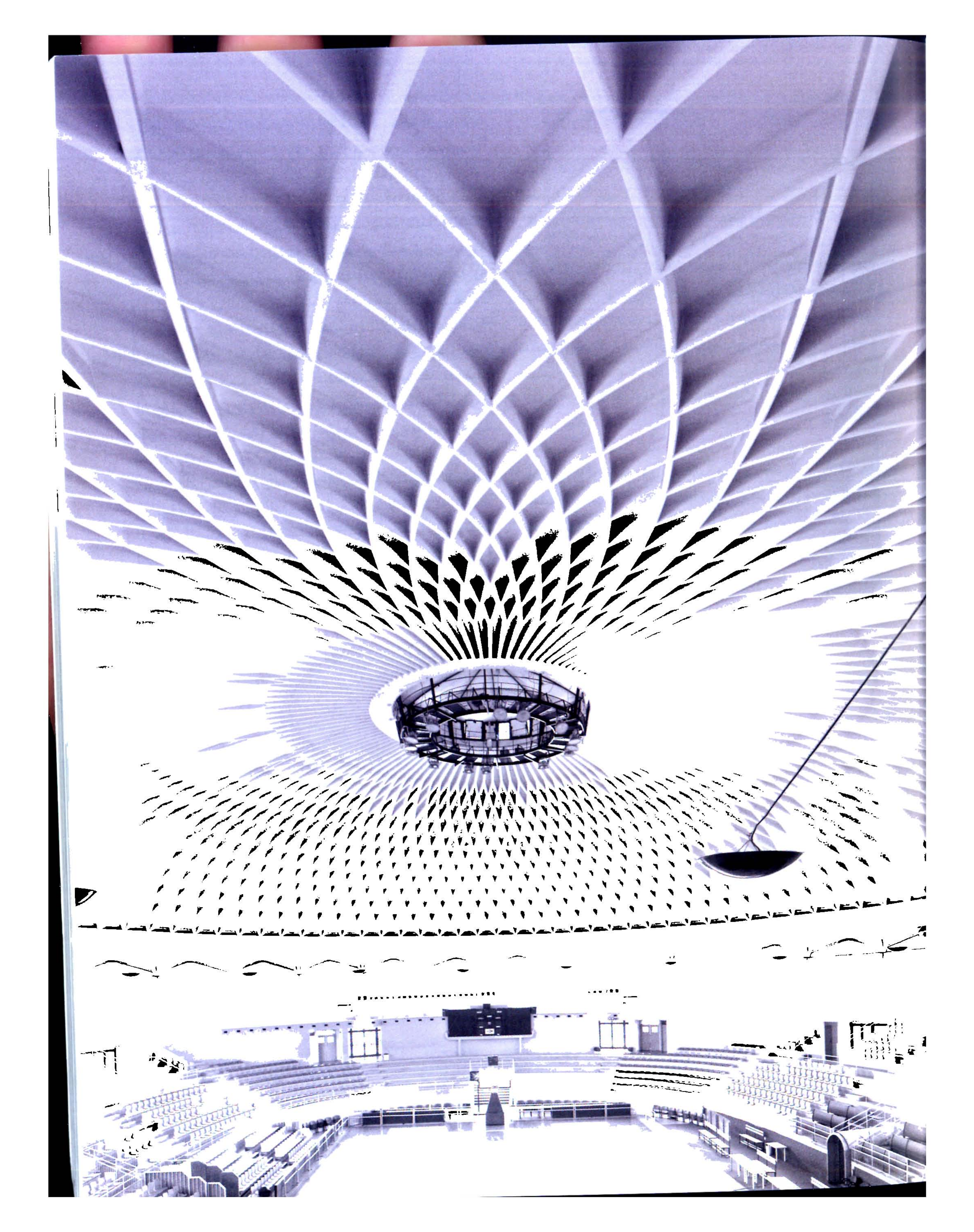
أوراق زنبق الماء الأمازونية الضخمة (ملكة الأمازون) هي من أشد الأمثلة الطبيعية دهشة وأكثرها وضوحاً. تغطي الورقة الواحدة دائرة يصل قطرها إلى ثلاثة أمتار، وفي حين أن الوجه العلوي من الورقة يبدو كأنه سطح مستو إلا أن وجهها السفلي مدعم بأعصاب على شكل نسيج شعاعي وشجري. درس المهندس الإنشائي بيير لويجي نيرفي الأشكال المتموجة في الطبيعة ولا يستبعد أنه استلهم من ورقة زنبق الماء الأمازونية تصميم القاعة الرياضية بمدينة روما (الشكل ٢٠)، وكذلك تصميم المركز الوطني للصناعات والتقنيات والذي لم يتم تنفيذه. واستخدم المهندس الإنشائي في كلا المشروعين نظام الأعصاب الإنشائية والتي تعمل بوصفها عمقاً إنشائياً يدعم طبقة علوية رقيقة ومسطحة، هذا بالإضافة إلى توظيف الصفات الإنشائية للقبة والقشرة. إن تفرعات الأعصاب الإنشائية في سقف الصالة الرياضية تقلل المسافات التي يجب أن تغطيها الطبقة الخارجية لسقف المبنى ومن ثم تتوزع الأحمال بالتساوي على كامل الأعصاب الإنشائية.

إن أهم التحديات التي تواجه المعماريين والمهندسين عند تقليد الأشكال الطبيعية هو تحقيق الكفاءة من خلال أشكال معقدة ولكن دون إضافة تكاليف. تنمو الأشياء في الطبيعة جزيئاً جزيئاً، في حين يصنع الإنسان الأشياء في ظل قيود عملية واقتصادية تفرضها تقنيات البناء. بالنسبة للمهندس نيرفي فإن الخرسانة المسلحة كانت بالنسبة له المادة المعجزة التي ساعدته لتحقيق ما يريد فقد قال عنها: «في حقيقتها ليس لها شكل لكنها تأخذ شكل أي قالب تملأه وعندما تتصلب تتحول إلى جسم مقاوم»[١١]. وكذلك قوله: «الخرسانة كائن حي يتأقلم بسهولة لأي شكل وأي وظيفة وأي إجهاد»[١٢]. نلاحظ من أقواله استخدامه لمصطلحات بيولوجية في وصف أنظمة بناء هندسية وإحساساً جعل مبانيه ذات قيمة أقرب إلى الطبيعة في ثباتها فبدت كأنها هيكل عظمي تكسوه عضلات. ونشاهد في كثير من أعماله أن الحل الإنشائي ظاهر في شكل المبنى فعلى سبيل المثال الأعصاب الإنشائية والكمرات الظاهرة في سقف مصنع قاتي للصوف والذي شيد في عام ١٩٥٣ تتطابق تماماً مع خطوط الإجهاد الرئيسة.

لقد أحدث نيرفي ثورة ليس فقط لأنه رفض جدلية "الفن ضد العلم" التي كانت سائدة في عصره، بل أيضاً لابتكاراته التقنية ومن ذلك اختراعه المسمى "الأسمنت المسلح" – عبارة عن مادة رقيقة ومرنة وقابلة للتكييف وقوية جداً ومكونة من طبقات عدة من شبك حديدي مرشوش بلياسة إسمنتية وتستطيع الصمود بدون تصدع وبسبب متانتها العالية ومرونتها تستخدم في تشييد البلاطات الخرسانية نحيفة السماكة وتشييد الهياكل القشرية. اشتهر نيرفي بكونه رائداً في استخدام قوالب مسلحة يتم لياستها بالإسمنت وينتج عن ذلك أسطح نظيفة وناعمة لا تحتاج لمواد تشطيب إضافية. وبهذه الطريقة يستغنى عن استخدام قوالب خشبية لصب الإسمنت وما يتبع ذلك من قيود الخطوط المستقيمة للخرسانة بعد الصب. مشروع القاعة الرياضية بروما هي أحد المشاريع التي شيدت بطريقة قوالب إسمنتية مسلحة مسبقة الصنع بسماكة تقل عن ٤٠٠ مم، وبمجرد رفع القوالب إلى مكانها في السقف يلحم الحديد المكشوف في الأطراف الخارجية للقالب مع الحديد المكشوف في القوالب المجاورة وتحشى الفواصل وبذلك يكون السقف جاهزاً ليعلوه طبقة خرسانية تصب في الموقع لإعطاء السقف شكله النهائي.

نجح نيرفي في كثير من المنافسات وكان سر نجاحه هو قدرته في الاستمرار في بناء مشاريع أكثر جدوى من ناحية التكلفة. إن قدرته على التحسين المستمر أثناء التطوير إضافة إلى براعته في محاكاة الطبيعة مكنته من ابتكار حلول ذات كفاءة عالية في استهلاك الموارد.

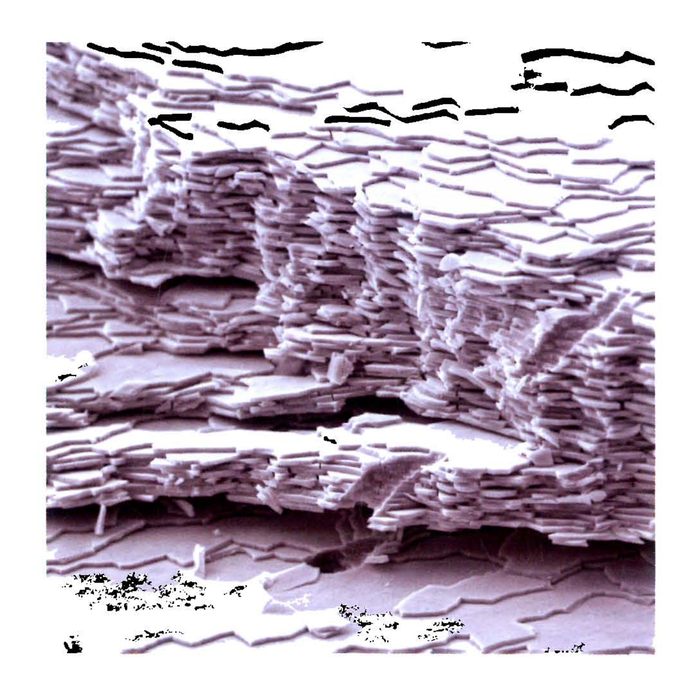
٢٠. المهندس الإنشائي العبقري بيير لويجي نيرفي استلهم من الطبيعة حلول إنشائية أكثر كفاءة كما يظهر في تصميمه لهذه القاعة الرياضية التي تحاكي الأوراق العملاقة لزنبقة الماء الأمازونية.



الأصداف والقباب:

الطبيعة أفضل مَن بنى القباب والأصداف. قوقعة أُذن البحر أحد أهم الكائنات الطبيعة التي درست بدقة بالغة (الشكل ٢١). وجد بعد فحص المجهر الإليكتروني الدقيق أن صدفة قوقعة أذن البحر مكونة من رقائق مضلعة من الأراجونيت (نوع من كربونات الكالسيوم) ملتصقة معاً بعجينة بوليمر مرنة. إن هذه التركيبة المكونة من عنصري الأراجونيت وعجينة البوليمر جعلت المسطح القشري أقوى من أقوى سيراميك صنعه الإنسان. صنع الإنسان مواد متجانسة لكنها عند تعرضها للشرخ فإنه ينتشر فيها ويزداد، في حين طورت الطبيعة منظومة مكونة من طبقات رقيقة مقاومة للشرخ فأي شرخ يصيب واحدة من الطبقات الرقيقة يقف حيث يبدأ ولا يمتد إلى الطبقة التي تليها، وبذلك لن يتعمق في المادة. تملك عجينة البوليمر اللاصقة بين الشرائح الرقيقة مرونة كافية للتعامل مع الحمل المركز على نقطة ما وتوزيعه على المسطح القشري بمساحة أوسع. أخذ علماء المواد بهذا الأسلوب التصميمي في صناعة ألواح أكثر تحملاً لتغطية جسم السيارة.

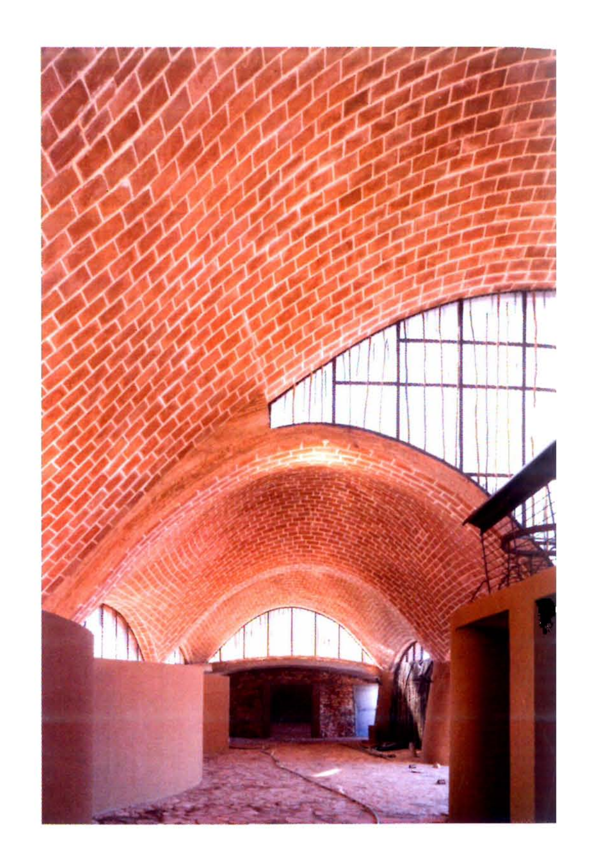
هناك طريقة إنشائية تقليدية وعادت للظهور مؤخراً تسمى "قواستافينو - Guastavino"؛ لإنشاء أقبية مسقوفة ومحدبة تتشابه كثيراً مع طريقة قوقعة أذن البحر في صناعة المسطحات القشرية (الشكل ٢٢). سميت كذلك باسم المعماري البلنسي رافائيل قواستافينو (١٨٤٢ – ١٩٠٨) وهي ببساطة عبارة عن بناء طبقة أساسية من بلاطات الأجر (التراكوتا) ترتكز على كمرات محدبة تحف بالسطح المراد تغطيته من الخارج، ويمكن رص البلاطات بدون قوالب داعمة حيث تستخدم خلطة إسمنتية خاصة بين البلاطات تعرف باسم مونة باريس حيث يمكن للبلاطات أن تمتص الرطوبة بسرعة كافية وترتبط مع بعضها في خلال نصف دقيقة. تبنى بعد ذلك طبقة ثانية بوضعية قطرية فوق الطبقة الأساس ويستخدم في هذه المرة إسمنت أقوى لتعزيز قوة اللحام بين البلاطات، ثم يوضع طبقة ثالثة بوضعية قطرية في اتجاه مغاير فوق الطبقة الثانية. النتيجة سقف قشري يغطي مساحة واسعة بأشكال فراغية متعددة وثرية. ظهر هذا النوع من تقنية البناء قبل كشف أي تفاصيل إنشائية لقوقعة أذن البحر، ومن ثم نستنتج أن طريقة قواستافينو لم تكن محاكاة للطبيعة. حسناً جداً، ولكني أرى أنها حالة تشابه عفوية يمكن تطويرها بصورة أفضل من خلال الاستفادة من دروس الطبيعة. نستطيع مثلاً أن نستخدم عجينة



٢١. **فحص مجهري إليكتروني دقيق يوضح رقائق متراصة من كربونات الكالسيوم في قوقعة أذن البحر.**

٢٢. **مركز مابنقبواي يوضح التنفيذ بطريقة "قواستافينو" لإنشاء الأقبية المسقوفة والمحدبة وهو من تصميم بيتر ريش - معماريون.**

٢٣. **الصدف الخشبي المصفوف على شبكة منتظمة من تصميم "اكتشاف". باستخدام أجزاء خشبية صغيرة وبتشكيل عالي الفعالية، يمكن للأصداف الخشبية أن تصل إلى معامل ١٥ في توفير استخدام المواد.**



مرنة بين الطبقات لمقاومة الشرخ وزيادة المساحة المغطاة، يمكن أيضاً إضافة تموجات في الشكل لتغطية مساحات أكبر واستهلاك مواد أقل. الإمكانيات إذن كبيرة جداً لمحاكاة الطبيعة من خلال ما تعلمناه من علوم حيوية موثقة ومعتمدة.

كان بالإمكان إضافة الصدف الخشبي المصفوف على شبكة منتظمة (الشكل ٢٣) إلى القسم السابق الخاص بالأسطح الإنشائية المستوية، وفي الحقيقة غالباً ما يبدأ بناؤه على شبكة مستوية ثم يبعج ليتخذ الشكل المحدب النهائي. لكن الهدف من تشكيل البناء بهذه الطريقة الإنشائية ليس الحصول على مسطح متين بقدر ما هو الحصول على عناصر منتظمة في سلسلة خطية - غالباً تكون عناصر خشبية- وتتصرف في مجموعها كأنها نظام إنشائي قشري. إن أول إيحاء يمكن أن نتلقاه عند التمعن في الطبيعة هو القباب والأصداف. أي شخص حاول أن يهشم بيضة بالضغط عليها بين السبابة والإبهام باتجاه المحور الطولي يدرك تماماً قوة الشكل الصدفي. أناقة بناء الأصداف الشبكية المنتظمة خير دليل على أن الإبداع يمكن أن يحقق نتائج أفضل من الإفراط في استخدام القوة"[١٣]

لقد لاحظ ماريو سالفادوري أن القباب عبارة عن سلسلة متتابعة من أقواس موزعة على محيط دائرة ومتنظمة في كتلة واحدة[١٤] لكن المزايا الهندسية للقباب أفضل من القوس حين مقارنة النسبة بين السماكة والقطر، النسبة في القوس تصل غالباً إلى ١:٢٠ - ١:٣٠، في حين تصل في القبة إلى ١:٢٠٠ - ١:٣٠٠. لا غرابة إذن حين تمتلئ الطبيعة بأشكال القباب والأصداف بصور عدة وأمثلة متنوعة مثل الكائنات الحية الدقيقة، أغلفة البذور (مثل البازلاء والفول السوداني)، الكائنات المدرعة (مثل السلحفاة)، والجماجم.



حالة دراسية:

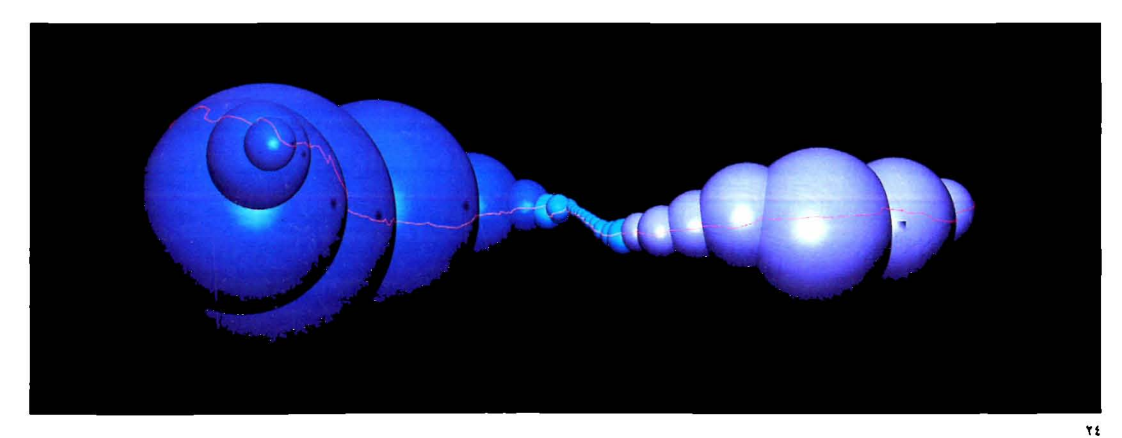
مشروع عدن - Eden: مجمع ضخم لمحاكاة البيئة الرطبة الاستوائية والبيئة المعتدلة الدافئة:

غالبًا، تحمل التحديات الصعبة في طياتها بوادر حلول مبتكرة. هذا قول مأثور تعلمه المعماريون عندما كانوا طلاباً، ومشروع عدن للمعماري قريمشاو أفضل مثل يمكن أن يعبر عن ذلك. نحن نتحدث عن أكبر بيت احتباس حراري في العالم يقع في حفرة مغمورة بالطين الصيني بعمق ٩٠ متراً وبعرض مئات الأمتار وأجزاء كبيرة في الموقع كانت غير مستقرة، وما زاد الأمر تعقيداً أن الحَفْر أيضاً كان مستمراً ولم يكن الشكل النهائي للموقع مكتملاً بعد.

أول مهمة في المشروع كانت تحديد أفضل أجزاء الموقع للبناء عليها. بالرغم من كل تحديات الموقع، إلا أنه يملك فرصاً كبيرة مثل: تميزه بمناخ مصغر خاص بالموقع وانحدار أجزاء كبيرة منه نحو الجنوب وهو ما يتيح توجيه المباني لاستقبال أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي. وللتغلب على تحديات الشكل غير المنتظم للموقع العام؛ اقترح أحد أعضاء الفريق وهو ديفيد كيركلاند حلاً جذرياً للمشكلة مستوحى من فقاعة الصابون (الشكل ٢٤) – إنها لحظة تجلي عبقرية. الفكرة هي بناء متتابعة من الفقاعات ذات أقطار مختلفة لتوفير ارتفاعات مناسبة لنمو النباتات في أجزاء مختلفة من المبنى وتجميع هذه القلادة من الفقاعات وتوزيعها لتتناسب مع طبوغرافية الموقع. جرب فريق العمل محاولات عدة لتجميع متتابعة من الفقاعات لتتوافق مع مجسمات ثلاثية الأبعاد لأرض المشروع. وبعد أن استبعد كل ما كان تحت مستوى الأرض؛ تمكن الفريق من وضع أول تصور يماثل الشكل النهائي للمشروع.

كان التحدي التالي للمشروع هو السعي الجاد نحو بناء خفيف الوزن. بعد دراسة عدد من الأمثلة الطبيعية – من جزيئات الكربون والحيوانات أحادية الخلية مثل الرادولاريا (حيوان بحري أحادي الخلية مشع الأطراف) وصولاً حتى حبوب اللقاح- اتضح أن أفضل أسلوب لبناء الشكل الكروي هو في التوزيع الجيوديسي للمضلعات الخماسية والمضلعات السداسية وهي التقنية التي برز فيها ريتشارد بكمنستر فولر حتى أن اسمه أطلق على أحد أشكال جزيء الكربون (بكمنستر الفلورين). بدأ التصميم بفرضيات إنشائية متحفظة قبل الشروع في مراحل تحسين النظام وتطويره. كان أكبر إنجاز علمي خلال مراحل العمل هو محاولة زيادة أبعاد الشكل السداسي ليسمح بزيادة نفاذية الضوء. وكانت تغطية الشكل الكروي بالزجاج حلاً غير عملي نظراً لصعوبات تتعلق بوزنه ومقاسه معاً؛ لذلك لجأ الفريق لاستخدام مادة أخرى ذات إمكانات أكبر واستخدمت في مبان معاصرة ولكن على نطاق مصغر.

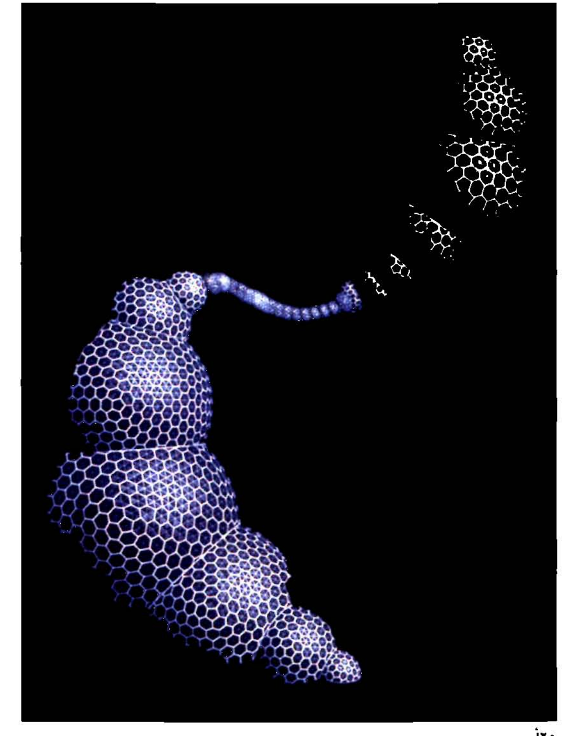
إيثيلين تترافلورثيلين هو بوليمر يعرف اختصاراً (ETFE) عالي القوة وخفيف الوزن ويركب في الواجهات بوصفه كسوة شفافة خارجية عن طريق لحام أطراف طبقاته الثلاث معاً ونفخه بالهواء ليكتسب متانته وشكله النهائي. الميزة العظيمة هنا هي في وزنه الذي لا يتجاوز واحداً بالمائة من وزن الزجاج (معامل توفير قيمته ١٠٠)، ويمكن تصنيعه على شكل وسائد أكبر من أكبر لوح زجاجي يمكن تركيبه وفقاً لمواصفات السلامة. تعرض البوليمر لاختبار الأنفاق الهوائية واختبار دقيق للمواد وساهمت النتائج في تحسين التصميم ليتوافق مع الظروف الخاصة بالموقع. حدث في التصميم دورة إيجابية فكل نجاح قاد إلى نجاح آخر: باستخدام وسائد كبيرة من البوليمر فهذا يعني استخداماً أقل للحديد، وهذا يعني أيضاً السماح لكمية أكبر من ضوء الشمس ومن ثم تقليل الاعتماد على التسخين في الأوقات الباردة من السنة. كمية أقل من استهلاك الحديد، يعني أيضاً توفير كميات كبيرة أخرى في الأنظمة الإنشائية الفرعية. إن العملية المستمرة لتحسين التصميم أنتجت مشروعاً استهلك اليسير من الموارد مقارنة بالطريقة الاعتيادية وكلف ثلث تكلفة مبنى احتباس حراري مماثل مغلف بمادة الزجاج. وزن الهيكل الإنشائي الرئيس في قبة البيئة الرطبة الاستوائية (الشكل ٢٥) أقل من وزن الهواء بداخلها. ولو قدر للفريق مواجهة التحدي نفسه مرة أخرى؛ لأمكن تحقيق وفر إضافي في الموارد في ظل التطور الذي وصلت إليه تقنية المواد وفي ظل الدروس الجديدة المستفادة من علم الأحياء.



٢٤



٢٥ب



٢٥أ

٢٤. **نموذج حاسوبي مبكر من تطوير فريق جريمشاو يوضح الفكرة الأولية لتصميم مشروع عدن كمتتابعة من الفقاعات تملأ الموقع غير المنتظم.**

٢٥. **الشكل (أ) صورة حاسوبية توضح أجزاء من البناء الجيوديسي للفقاعات فوق سطح الأرض. الشكل (ب) صورة داخلية لمجمع محاكاة البيئة الرطبة الاستوائية بمشروع عدن.**

على النقيض مع أكثر ما سبق دراسته في التاريخ، أسفرت منهجية محاكاة الطبيعة عن علاقة حميمة مع تنسيق الأرض. خذ على سبيل المثال بيت النخيل في حدائق النباتات الملكية في كيو (جنوب غرب لندن)، حيث يقف البيت الزجاجي متماثل الجانبين على أرض مستوية مهيمناً على الطبيعة من حوله ومعززاً لمفهوم سيادة الإنسان على الطبيعة وهو المفهوم السائد آنذاك. بالمقابل نجد أن مشروع عدن توافق مع التشكيل الطبيعي للموقع وكانت أعمال الحفر أقل ما يمكن وهو ما عزز مفهوم الاحترام المتبادل بين البشر وعالم الطبيعة.

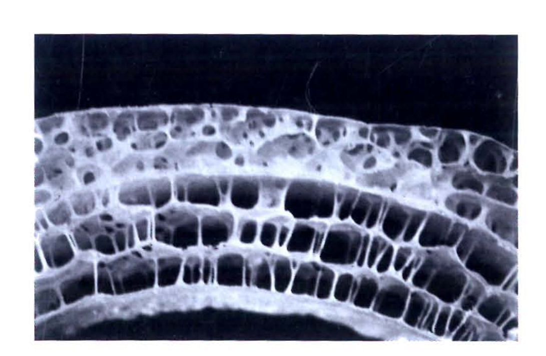
الهياكل العظمية:

كما اتضح سابقاً عند الحديث عن العظمة الطرفية لجناح النسر؛ تتكيف الطيور بطريقة تجعل أجسامها خفيفة الوزن. ولذلك فإن الطيور هي خير تطبيق للمثل السائد "المواد أغلى والشكل أرخص». جماجم الطيور (الشكل ٢٦) مثل الغربان وطيور العقعق (من فصيلة الغرابيات ولها أذيال طويلة) آية من آيات الإعجاز الهندسي في الطبيعة حيث كلما زادت سماكة عظمة الجمجمة، زادت خفة وزنها. يتم ذلك عن طريق شرائح من أسطح متعددة ومتصلة مع بعضها عن طريق منظومة من الروابط والدعامات، إنها تركيبة غير عادية تجمع بين تأثير سلوك المسطحات القشرية وتقنية الهياكل الفراغية ، وكل ذلك في الهيكل العظمي لجسم طائر العقعق الصغير.

كان هذا المبدأ مصدر إلهام لبناء مظلة إنشائية (الشكل ٢٧) صممها المعماري اندريس هاريس[١٥] . كان التصميم نتيجة فهم عميق لتشكيل الأنسجة العظمية حول حجرات فراغية مملوءة بالهواء تفصل بين مستويات صلبة عدة. إنه من الممكن جداً بناء مظلة بطريقة مشابهة للطبيعة وباستخدام شبكة من فراغات هوائية كبيرة ومن حولها خرسانة مسلحة أو أي مادة متطورة أخرى قابلة للصب.

ما زالت الهياكل العظمية مصدر إلهام للمعماريين منذ أن نشر دارسو تومبسون كتاب "حول النمو والشكل » والذي أوضح من خلاله العلاقة المتوازية بين مبان مثل جسر «الطريق الرابع» والفقرات الظهرية للحصان. واصل المهندس جين فيرنيك والمعماريان ماركس وبارفيلد التوجه والاهتمام نفسيهما في تصميم "جسر المستقبل" (الشكل ٢٨)، حيث صمما ما يشبه الفقرات المثبتة بقضبان مربوطة في بناء جسر أنيق يغطي مساحة واسعة.

سانتياغو كالاترافا معماري آخر معروف بتصميم مشاريع تحاكي فكرة الهياكل العظمية وصمم عدداً من الجسور الرشيقة

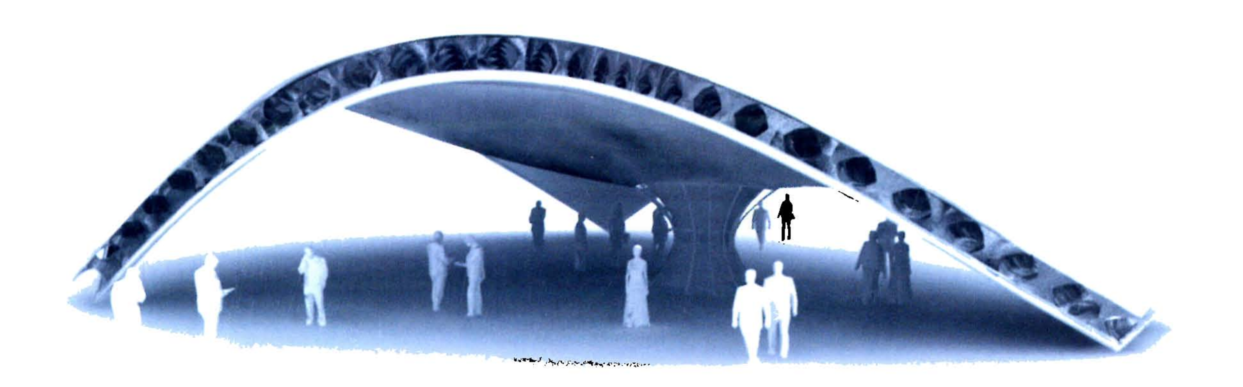


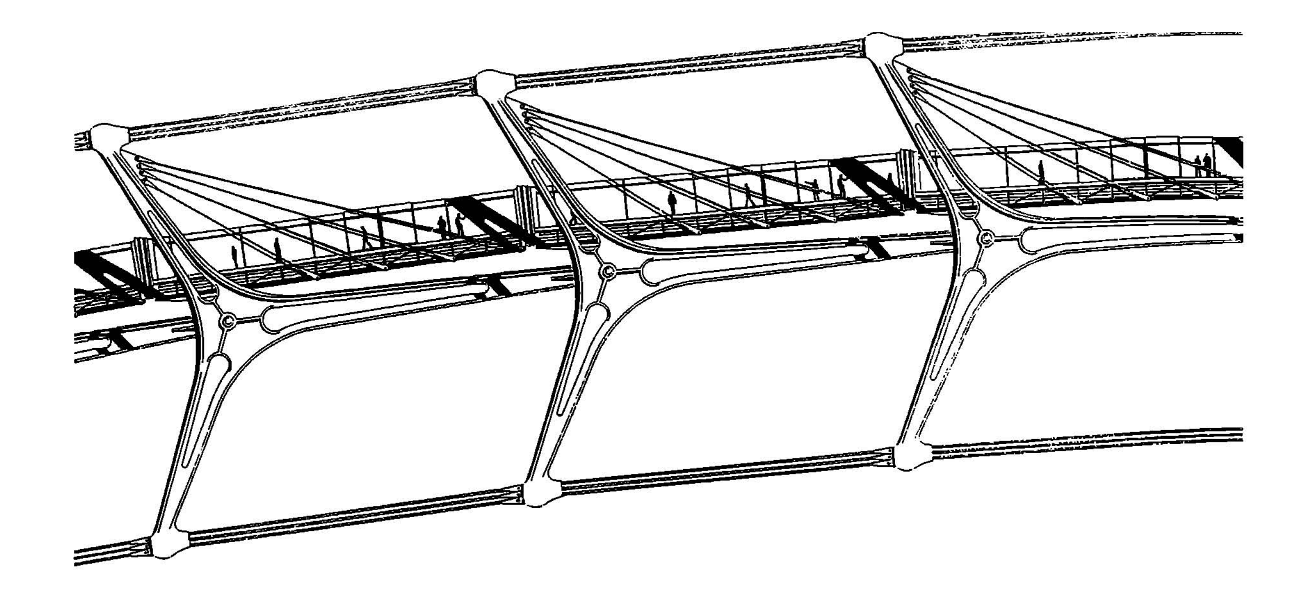
٢٦. جمجمة طائر.

٢٧. مظلة إنشائية صممها المعماري اندريس هاريس مستخدماً المبادئ الإنشائية لجماجم الطيور.

٢٨. جسر المستقبل من تصميم المهندس جين فيرنيك والمعماريين ماركس وبارفيلد مستخدمين فقرات مثبتة بقضبان صلبة.

٢٩. متحف ميلووكي للفنون من تصميم سانتياغو كالاترافا أظهر حماساً مبالغاً فيه للتشكيل الحيوي.

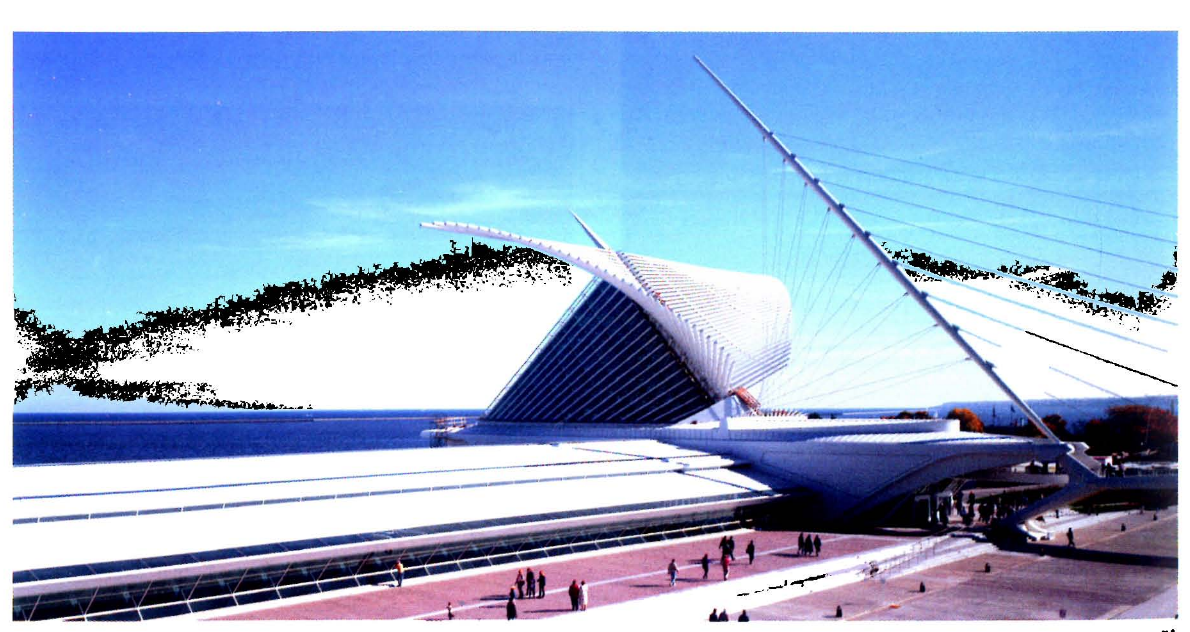




حول العالم. ولا ننكر أنها ماتعة، لكن المبالغة في التشكيل الحيوي يطغى أحياناً على الأسس الإنشائية المنطقية للمشروع (الشكل ٢٩). إن الجمال الموجود في الطبيعة يستمد غالباً من اقتصادها الصارم الذي يستبعد كل ما هو غير ضروري.

وشهدت السنوات الأخيرة تطوراً مذهلاً في فهم الهياكل العظمية وفي التطبيق الهندسي للدروس المستفادة من الأشكال العظمية، يظهر ذلك خصوصاً في أعمال كلاوس ماثيك [١٦] على حد وصفه؛ فإن الأشكال البيولوجية في الطبيعة تتبع قاعدة بسيطة وهي "مسلمة الإجهاد المنتظم" تزداد كمية المادة في المناطق التي يتركز فيها الجهد، وتكون الزيادة بالقدر الذي يكفي لتوزيع إجهاد القوى بشكل متساوٍ، وتضمحل المادة تماماً في المناطق البعيدة عن تأثير القوى. ومن ثم فإن النتيجة تكون تحقيق كفاءة مثالية بدون تبذير للمادة من خلال التوزيع العادل للمادة بحيث تتحمل حصتها العادلة من القوى.

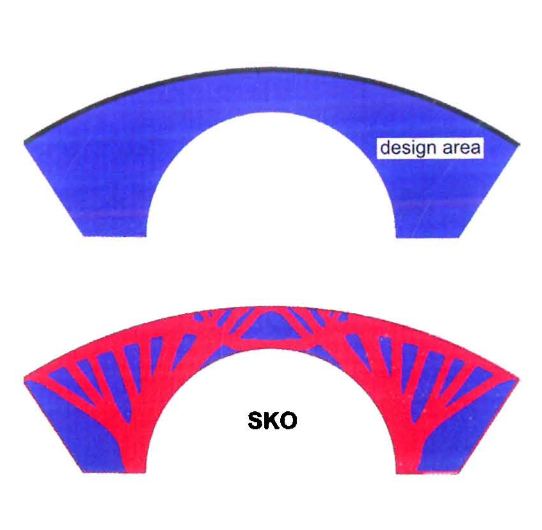
تمكن ماثيك وفريقه في مركز كارلسروه للأبحاث من تطوير منهجية تصميم تستخدم عمليات برنامجين حاسوبيين

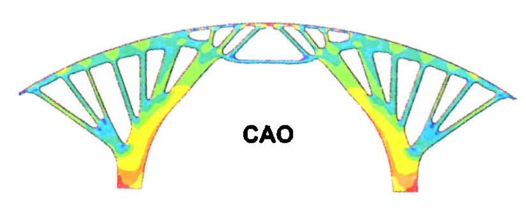


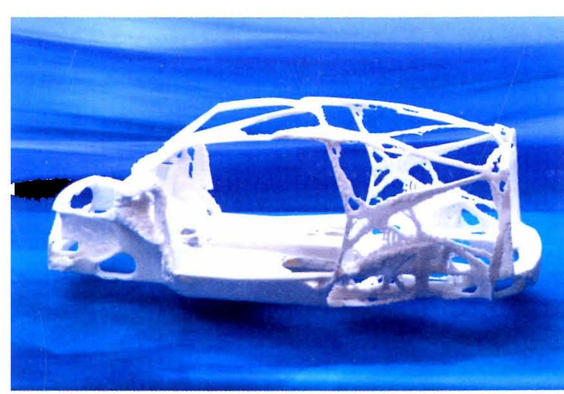
٢٩

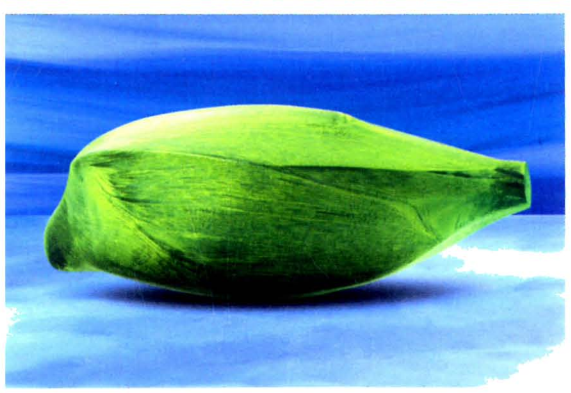
(الشكل ٣٠) لاقتراح أشكال بيولوجية تماهي تماماً إتقان الطبيعة. باستخدام البرنامجين، يمكن للمصممين إخضاع النموذج الحاسوبي الأولي للفكرة الإنشائية إلى القوى نفسها التي يتعرض لها فعلياً في الواقع مثل: تأثير الثلوج والرياح والأحمال نتيجة وقوع الزلازل والأحمال نتيجة استخدام المبنى. في المرحلة الأولى يتخلص البرنامج الحاسوبي من المواد الموجودة في المناطق البعيدة عن إجهاد القوى أو قليلة التأثر عن طريق استخدام "خيار التخلص الأولي" (SKO)

أما المرحلة التالية فيقوم برنامج "التحسين باستخدام الحاسب الآلي» (CAO) بتحسين الأشكال، حيث يعيد توزيع المادة بشكل أفضل لتتركز في نقاط التقاطع حيث الإجهاد المركز الذي يؤدي إلى الانهيار. يشبّه ماثيك عمليات التخلص والتحسين باستخدام الحاسب الآلي كمن وجد قطعة من الخشب ثم قام بنحتها لتقترب من الشكل النهائي (وهذا ما يتم في مرحلة "خيار التخلص الأولي" - SKO) ثم واصل عمليات الصنفرة والصقل على القطعة الخشبية لتصل إلى شكلها النهائي (مرحلة "التحسين باستخدام الحاسب الآلي» - CAO). وتخرج النتائج النهائية بصورة غير متوقعة على هيئة أشكال عضوية أكثر كفاءة من الأشكال العادية. استخدمت شركة مرسيدس هذه البرامج لتطوير التصميم الخاص بالهيكل الخارجي للسيارة المستوحاة من جسم السمكة المضلعة (الشكلان ٣١ و٣٢). نستطيع أن نطبق ذلك على المباني أيضاً وأن نحقق كفاءة أعلى في استخدام المواد وأشكالاً معمارية أكثر أناقة وحلولاً إنشائية أكثر ثباتاً.









٣٠. مخطط يوضح مراحل تطوير التصميم وفقاً لطريقة كلاوس ماثيك باستخدام "خيار التخلص الأولي" (SKO) وبرنامج "التحسين باستخدام الحاسب الآلي" (CAO).

٣١. نموذج يوضح تطوير هيكل سيارة مستوحاة من جسم السمكة المضلعة باستخدام برنامج (SKO) و(CAO).

٣٢. نموذج التصميم الديناماكي الهوائي لسيارة مستوحاة من جسم السمكة المضلعة.

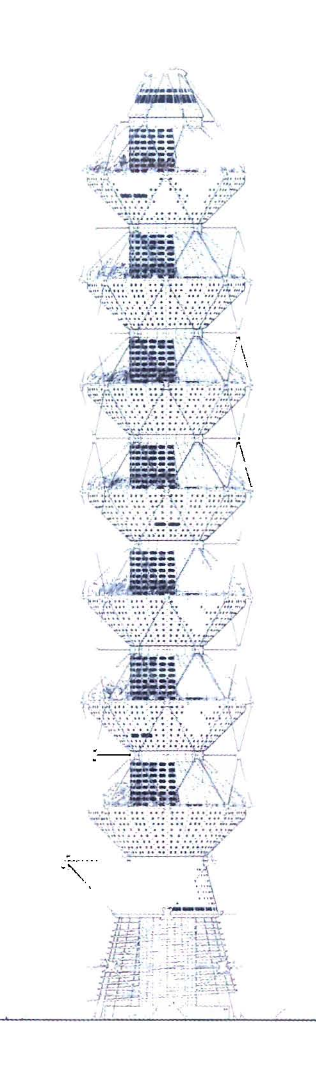
٣٣. برج التعايش من تصميم "أنظمة المستقبل". يتحمل جوف البرج قوى الضغط بطريقة مشابهة لجذع الشجرة، بينما تتحمل قوى الشد عناصر إنشائية على المحيط الخارجي للبرج وموزعة بطريقة حلزونية.

٣٤. في الغابات الاستوائية حيث تقل سماكة التربة، تمكنت الأشجار من مقاومة انقلابها عن طريق نمو دعامات أسفل منها.

الأشجار:

حازت الأشجار أيضاً على نصيب وافر من أبحاث ماثيك، ربما لأنها أكثر وضوحاً من العظام في توزيع الإجهاد بطريقة متماثلة حيث تتشكل كل نقاط نقل وتوزيع الأحمال في الشجرة بطريقة مثالية بل تستجيب لمتطلبات النمو والتغيير مع تغير الوقت. من المألوف في المنشآت التي يصنعها الإنسان تصميم مقاييس العناصر الإنشائية لمقاومة أكبر إجهاد يقع على نقاط قليلة ومحددة. لكن المأخذ على هذه الطريقة هو تعميم هذه المقاييس على بقية العناصر الإنشائية ومن ثم المبالغة والإسراف في التصميم الإنشائي. تنمو الأشجار وتتفرع الأغصان متخذة أشكالاً هي الأفضل من حيث توزيع الإجهاد بطريقة متماثلة وتتغير الأحمال على مدى عمر الشجرة، لكن يظل لديها القدرة على التأقلم مع هذه التغيرات.

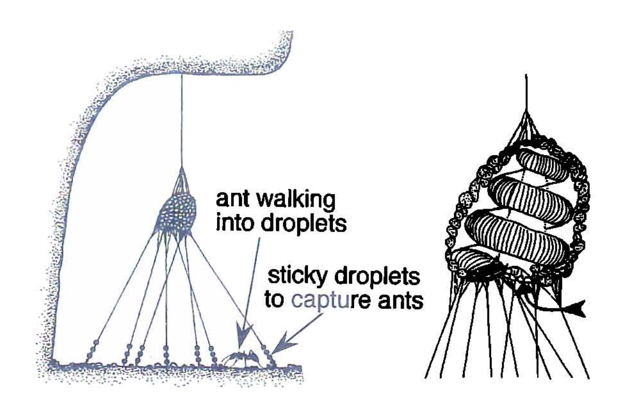
الفرق الأهم بين الأشجار والعظام هو أن نسيج المادة في الأولى مصمت ينمو دون إزالة أجزائه، بينما نسيج المادة في العظام مجوف، ذلك أن الشجرة كائن جامد لا يتحرك في حين أن خفة وزن العظام متطلب لسرعة حركة الحيوان حتى يتمكن من الصيد أو الفرار بنفسه. التفسير المحتمل الآخر أن نسيج المادة في الأشجار يجب أن يكون صلباً حتى يتحمل قوى الضغط الذي يعادل به قوى الشد الناتج عن تدلي الأغصان بعيداً عن الجذع. يوجد شبه بين النمط الإنشائي الشجري والرسم التخيلي لبرج التعايش من تصميم "أنظمة المستقبل» (الشكل ٣٣). بالتأكيد أن سيقان نبات الخيزران فارغة لكنها تتعامل بطريقة مختلفة تماماً عن بقية الأشجار لأنها تنبت كمجموعة سيقان لا يقع عليها أحمال؛ بسبب ندرة أغصانها المتدلية وخفتها.



٣٣



أشكال جذور الأشجار مصدر ملهم لتشكيل أساسات المباني، فوجود قاعدة صلبة وعريضة تزيح محور الدوران بعيداً عن جذع الشجرة، في حين تعمل شبكة الجذور الممتدة في العمق على توظيف أكبر قدر من التربة لمقاومة انقلاب الشجرة [١٧] في الغابات الاستوائية حيث تقل سماكة التربة؛ تمكنت الأشجار من التأقلم عن طريق نمو دعامات أسفل منها (الشكل ٣٤) تقوم بمقاومة الانقلاب بصورة تفوق مقاومة التربة للانقلاب في المناطق المعتدلة [١٨]



ألهم نسيج بيت العنكبوت الشبكي عدداً من المعماريين والمهندسين المعاصرين فأنتجوا أشكالاً تحاكي خيوط الشبكة العنكبوتية المألوفة في المنازل السكنية وأشكالاً أكثر تعقيداً كالتي تبنيه أنثى عنكبوت من جنس معروف علمياً باسم (أشارانيا جلوبوسبيريا) (الشكل ٣٥) [١٩]

يمكن القول إنه لا يوجد بطل لمنشآت الشد أكثر من المهندس والمعماري الألماني فراي أوتو (ولد عام ١٩٢٥). إنه رائد البناء بالكيابل الشبكية ومؤسس معهد المنشآت خفيفة الوزن ونشر من خلال معهده أكثر من ٣٦ مجلداً عن أساسيات التصميم الإنشائي المستوحى من الطبيعة[٢٠] تصف تلك المجلدات وبتفصيل دقيق أساسيات التصميم الإنشائي لمجموعة واسعة من وحي الطبيعة تشمل وحيدة الخلايا الشعاعية وصولاً للهياكل العظمية، وتشمل أيضاً الأشجار ونسيج شبكة العنكبوت. وبالرغم من الدقة الهندسية المتناهية في المنشآت الطبيعية ومن ذلك على سبيل المثال نسيج شبكة العنكبوت، فقد يبدو الأمر سهلاً للمحاكاة المباشرة من قبل الإنسان، إلا أن الأمر ليس كذلك فسرعان ما يقع المصممون في مشاكل. تخيل معي لو أن نسيج العنكبوت تعرض لضرر بسبب الأعاصير فإن العنكبوت لن يغضب لذلك وسيبادر فوراً إلى الترميم، لكن زبون المعماري أقل رباطة جأش من العنكبوت. بكل بساطة سيقوم العنكبوت بهضم خيوطه البالية وإعادة استخدامها كخيوط جديدة فيما يشبه إلى حد ما برنامج صيانة مستمر. لا بد أن نفكر بمنهجية مماثلة تسمح بالحد الأدنى من إصلاح الضرر. إن أحد مصادر الإحباط هو عدم قبول الأخطاء التي يفرضها الواقع العملي، فبينما يتحمل العنكبوت ذلك النوع من الأخطاء حتى لو كانت جسيمة؛ يعجز الإنسان وأنظمة التكسية الخارجية عن ذلك.

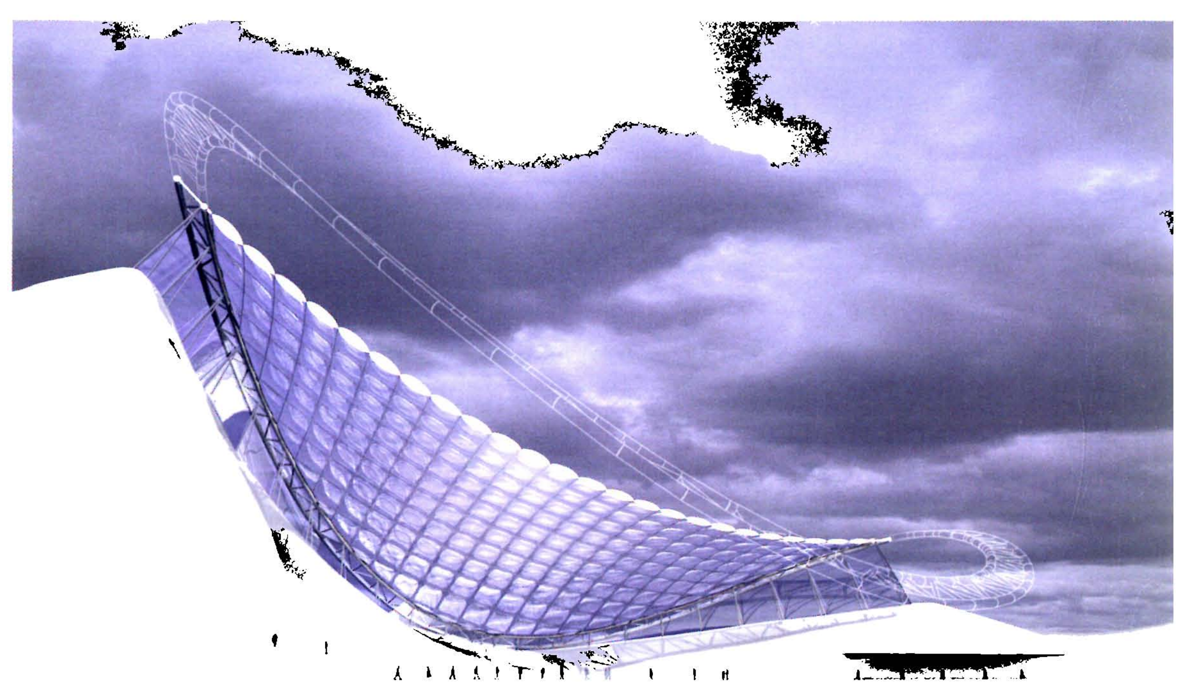
المنتج النهائي لمنشآت الشد من صنع الإنسان يبدو أقل أناقة من الأنسجة التي بنتها العناكب. هذا لا يعني الانتقاص من مباني فراي أوتو مثل جناح ألمانيا الغربية بمعرض إكسبو ١٩٦٧ (الشكل ٣٦) الذي تميز بجماله وشاعريته، لكنها محاولة لتسليط الضوء على الصعوبات التي تواجه منهجية محاكاة الطبيعة.

شبكة الحبال المعلقة هي أكثر الأشكال المألوفة في منشآت الشد، حيث يشد النسيج الشبكي على سلسلة من الأوتاد العالية. اقترح فراي أوتو الخيمة بوصفها فكرة أولية لتصميم الملعب الأولمبي بطوكيو، لكن كينزو تانجو اقترح فكرة أخرى مبدعة، وبالرغم من تفوق عدد العناصر الرأسية في فكرة كينزو تانقو مقارنة بأفكار فراي أوتو الأولية؛ إلا أن النظام الإنشائي في الفكرتين يبقى متشابهاً. نهج فريق قريمشاو طريقاً آخر في تصميمه لإضافة مجمع بيئي مناخي ثالث في مشروع عدن، وكان أهم متطلبات تصميم المجمع الجديد توفير أكبر قدر ممكن من الضوء الطبيعي. ومن ثم وزع فريق العمل العناصر الإنشائية المقاومة للضغط على الأطراف الخارجية، بينما تدلت العناصر الإنشائية المقاومة للشد فوق المنطقة المخصصة لنمو الأشجار. يوجد في مجمع محاكاة البيئة الجافة (الشكل ٣٧) كمرة حلقية مقوسة للداخل مع أوتار مشدودة نحو الخارج، نتج عن ذلك تشكيل مستويين منحنيين متضادين وبطريقة تجعل الحمل الواقع على أي نقطة في السطح يتجه في اتجاهين مختلفين مدعوماً بحبال الشد من كل جانب وذلك من أجل توفير أكبر مقاومة لحمل الرياح [٢١]

٣٥. بيت أنثى عنكبوت ويظهر أن المعماري بروس قوف قد تأثر بها في بعض أعماله.

٣٦. جناح ألمانيا الغربية بمعرض إكسبو ١٩٦٧ بمدينة مونتريال من تصميم فراي أوتو وربما يكون الأقرب لفخامة نسيج العنكبوت.

٣٧. مجمع محاكاة بيئة المناخ الاستوائي الجاف في مشروع عدن من تصميم قريمشاو. كان أهم متطلبات المشروع توفير أكبر قدر ممكن من الضوء الطبيعي باستخدام كمرة حلقية تشد أقل قدر ممكن من شبكة حبال معدنية لتغطية المنطقة التي تنمو فيها الأشجار.



منشآت هوائية:

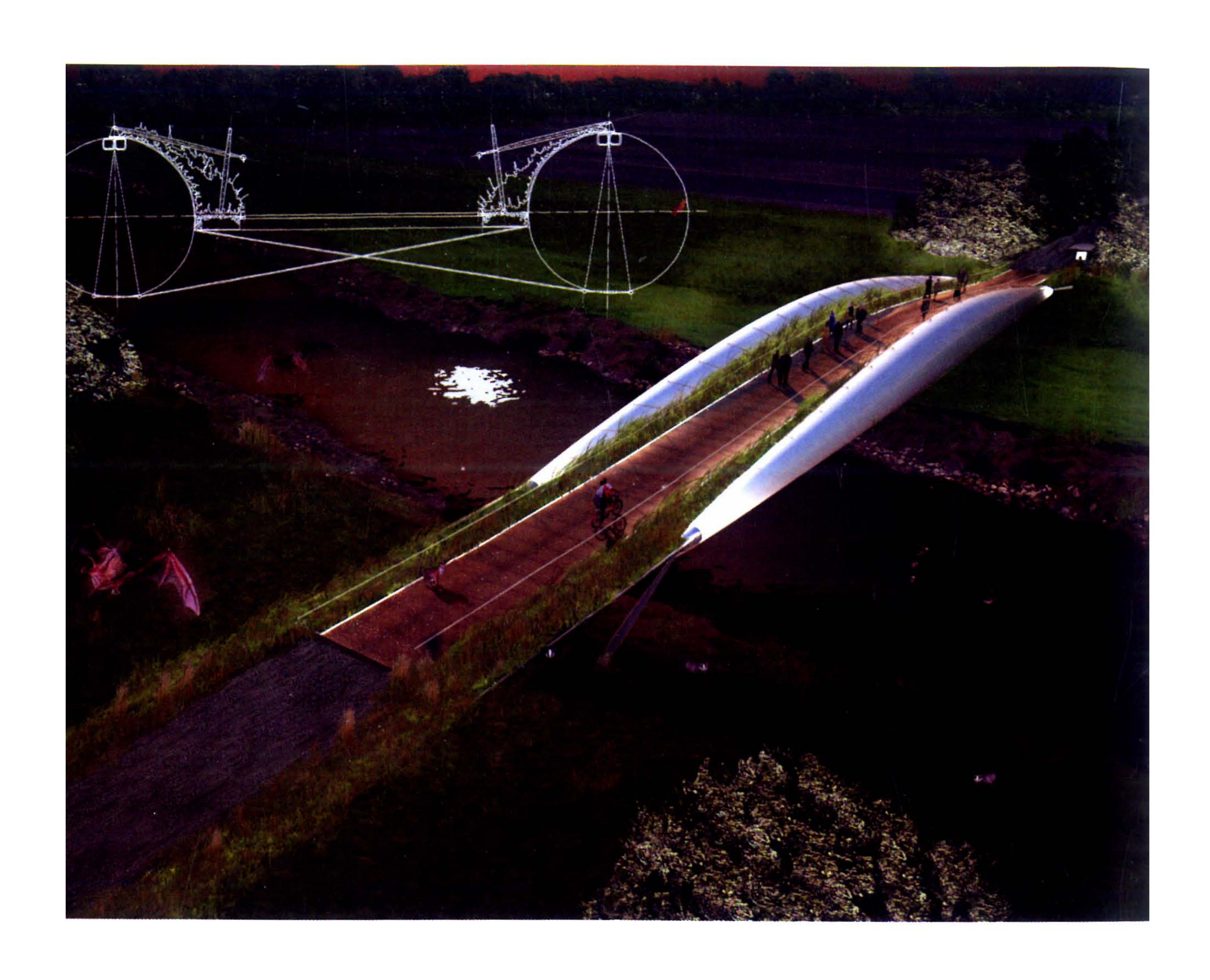
تحافظ ورقة الشجرة على قوامها من خلال ضغط الخلايا الموزعة على سطحها قليل الأنسجة الخشبية. يقوم النبات ببذل الطاقة اللازمة لتخزين السكر في خلايا الورقة عن طريق تدفق الماء ليشكل ضغطاً داخلياً في كل خلية. قوة الضغط في كامل خلايا الورقة باتجاه بعضها بعضاً تساعد الورقة في اتخاذ قوامها الصلب ويفسر هذا ذبول الورقة عند نقص المياه. هذا هو السبب نفسه الذي يجعل زنبقة الماء تتفتح بكامل محيطها وتحافظ على قوامها الصلب لتغطي مساحة واسعة فيما يشبه الدعامة المعلقة.

من المؤكد أن استلهام أفكار من الطبيعة وتوظيفها على مقياس أكبر سيصادف مشاكل كثيرة؛ لأن زيادة المساحة يتبعها بالضرورة زيادة في مربع المساحة، وزيادة الحجم يتبعها أيضاً زيادة في مكعب الحجم. ببساطة، الحلول التي تعمل على مقياس مصغر في الطبيعة ليس بالضرورة أن تعمل أيضاً على مقياس مكبر؛ لأنها حينئذ ستكون ثقيلة جداً. هذا ينطبق تماماً على خلايا الورقة النباتية والطريقة التي تعتمد عليها في توازن ضغط السوائل بداخلها. لكن ولحسن الحظ أمكن الوصول إلى التأثير نفسه عن طريق خلايا تعمل بضغط الهواء.

في أطروحتها المسماة "المصفوفة الهوائية – عمارة المنشآت الهوائية في العالم الرقمي»؛ ذكرت المعمارية جوديت كيمبيان أن تشييد المباني المدعومة بالهواء واجه تاريخاً متقلباً بعض الشيء. وكانت إطارات السيارات الثورة الأولى في التصاميم المعتمدة على ضغط الهواء، ثم طورت لاستخدامات عسكرية مختلفة خلال الحربين العالميتين الأولى والثانية، ثم تحولت المنشآت الهوائية إلى هاجس راود كل من توقع مستقبلاً باهراً للمباني الفورية المنفوخة بالهواء. وصلت موجة المباني المنتفخة أوجها في مباني الأجنحة المشاركة بمعرض أكسبو ١٩٧٠ بأوساكا ولكن ما لبثت تلك الموجة أن خبت في وقت قصير لأسباب عدة ومنها: مشاكل فنية، وإتقان تصنيعي متواضع، وأدوات تصميمية غير كافية، كل تلك الأسباب مجتمعة أثرت سلباً على مستقبل تطوير المباني المنفوخة. وبالرغم من كل هذا القصور تظل المنشآت الهوائية جذابة جداً لمحبي محاكاة الطبيعة، لقد عبر عن ذلك أيضاً قول رينير باهنام "تظل المباني الهوائية على قيد الحياة لأسباب غير معروفة عند غيرها». كان أول أجسام منفوخة بالهواء بكل تأكيد متأثراً بأمثلة من الطبيعة مثل التأثر بوظيفة أكياس السباحة في الأسماك. يشرح ستيفن فوقل الأساس الأهم لتشييد المنشآت المنفوخة في كتابه « كفوف القطط والمنجنيق» كالتالي:

«تشييد منشأة منفوخة أمر بسيط، نحتاج فقط لغلاف مقاوم للشد يحيط بجسم مائع مقاوم للضغط للحصول على منشأة ذات شكل مميز وقوام متين وجسم قوي وما إلى ذلك»[٢٢]

كان ذلك هو الأساس لكثير من أعمال الشركة الهندسية الإيطالية السويسرية للمنشآت الخفيفة التي طورت كمرات هوائية ذات أبعاد مذهلة. تم ذلك عن طريق دعم الكمرات الهوائية من الأعلى بألواح حديدية ضاغطة، وربط نهايتي كل لوح حديدي بكيابل شد حديدية، ولف تلك الكيابل حول الكمرات الهوائية في جانبي اللوح الحديدي لتلتقي في منتصف الوجه السفلي لكل لوح حديدي ثم ربطها في نهاية اللوح. تصميم الشركة للكمرات الهوائية بهذه الطريقة يضمن ثبات الألواح الحديدية الضاغطة ومن ثم يقلل الالتواء، كما يضمن عمقاً إنشائياً يسمح بتغطية بحر واسع. إنها طريقة مشابهة تماماً لعمل الجمالونات الحديدية ولكن بدون أحمال علوية ودعامات صلبة، مجرد هواء مضغوط ضغطاً متوسطاً سيقوم بكامل الأعباء. بدون شك سيكون هناك قيود على أقصى مسافة يمكن تغطيتها بواسطة هذا النظام الإنشائي، ولكن التجارب التي طبقت حتى الآن تأكد أنه حل مثالي وأنيق ويحقق النتائج نفسها مقارنة مع غيره من الأنظمة الإنشائية ويتميز باستهلاك جزء يسير فقط من المواد. الفكرة المقدمة من شركة استكشاف لمسابقة جسر نهر دوغلاس (الشكل ٣٨) توضح التقنية المستخدمة لبناء منشأة خفيفة الوزن جداً وتغطي بحراً شاسعاً وتصل بين منطقتين غنيتين من حيث التنوع البيئي.



٣٨. جسر نهر دوغلاس يغطي بحراً واسعاً باستخدام منشأة هوائية- من تصميم استكشاف.

حالة دراسية:

القاعة المنفوخة:

القاعة المؤقتة خير مثال لتقنية المنشآت المنفوخة، ومن مميزاتها أن تصميم المسرح يتطلب صناعة فراغات تثير التحدي وتلهم الفنانين وتلح عليهم في تقديم أفضل أعمالهم الفنية. صممت جوديت كيمبيان قاعة منفوخة (الشكل ٣٩ و ٤٠)، وكان التركيز على "زيادة الدراما والتشويق لفعالية متنقلة عن طريق جعل نسيج المبنى ينبض (بالحياة) مع..... توفير فراغات منحنية غير متماثلة، وأحجام متداخلة ذات إيقاع إنشائي ديناماكي». هناك ميزات أخرى للمنشآت المنفوخة لأنها الأفضل في تلبية متطلبات مثل: التنقل السريع بسبب خفة الوزن وقلة الحجم، والمرونة القصوى، ونظراً لطبيعتها المؤقتة فهي أقل احتياجاً للعزل الحراري وتلبية معايير التحكم البيئي.

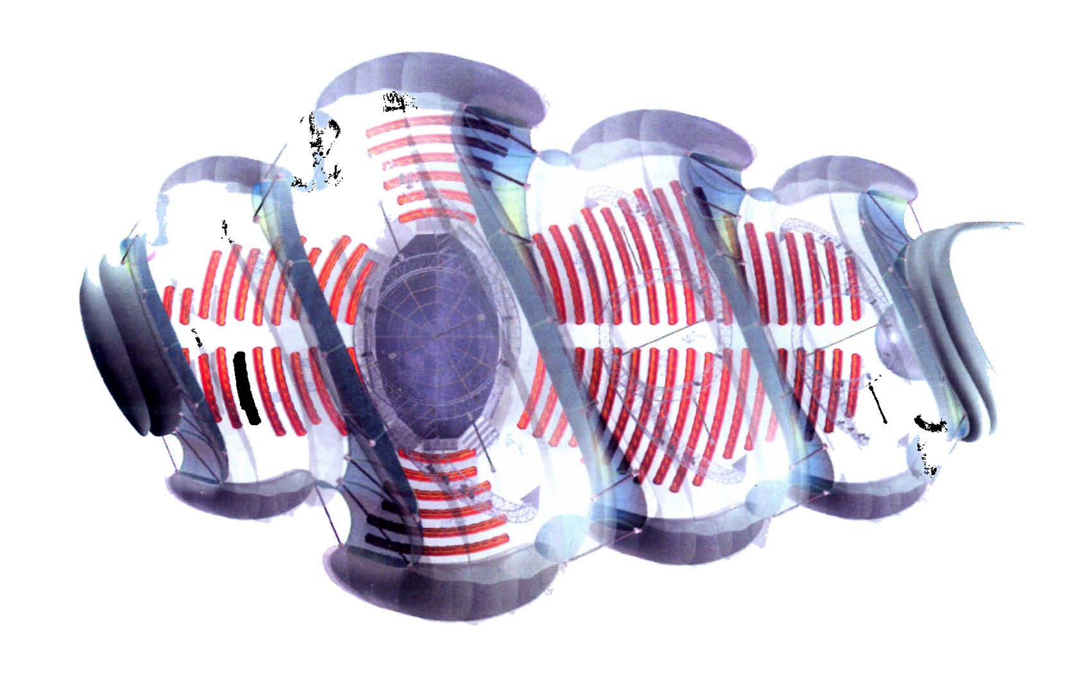
صممت القاعة بدون أي دعامات رأسية تحجب رؤية الفراغ الداخلي، بل على شكل سلسلة من أقواس واسعة البحور منفوخة بالهواء وتم توصيلها مع بعضها لتشكيل مبنى مستقر ولكنه غير جامد. تكمن قوة المنشآت المنفوخة في قدرتها على نقل الأحمال بواسطة الانحناء وهو الأمر الذي يميز كثيراً من الهياكل الإنشائية الطبيعية ومن جهة أخرى يتباين مع أغلب نظم الهندسة الإنشائية في القرن العشرين والذي خلطنا فيه بين المتانة والجمود. في الطبيعة، لا تتحقق المتانة بنظم إنشائية جامدة بل بنظم إنشائية مرنة تستوعب أيضاً حركة الجسم.

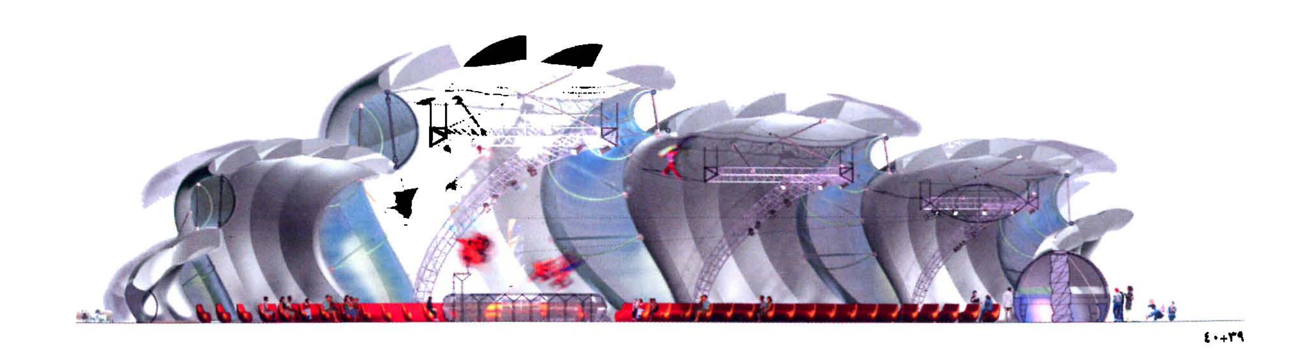
يمكن تحريك أقواس القاعة المنفوخة كما يمكن تغيير شكلها بواسطة قوة "عضلات" منفوخة بالهواء. ومن ثم يتحول المبنى نفسه إلى مشهد درامي آخر يضيف إلى الفعاليات التي سيستضيفها. تستند الأقواس إلى وسائد هوائية لسهولة الحركة وعند التثبيت تمتد الوسائد لتعمل كممصات هوائية تثبت على الأرض بقوة ضغط الهواء السالب وبطريقة مشابهة تماماً للممصات التي تغطي أذرعة الأخطبوط. كراسي الجمهور منفوخة أيضاً بالهواء وخشبة المسرح مرنة التمدد ويمكن تشكيلها حسب متطلبات العروض التي تقام عليها. سطح خشبة المسرح عبارة عن شبك معدني رقيق ومشدود بدرجات متفاوتة إلى دعامات منفوخة بالهواء تعمل كعضلات هوائية. يتدلى من الأقواس المنفوخة بالهواء حلقة لحمل كشافات الإضاءة ويتم التحكم في استقرارها بواسطة دعامات منفوخة بالهواء مثبتة على الأرض (عضلات هوائية). وبينما يغلب على تصميم المسارح وصف الجمود؛ أظهرت كيمبيان مسرحاً من نوع آخر أشبه ما يكون بكائن حي يتأقلم مع تشكيلة واسعة من الوظائف.

يبرهن عمل كيمبيان على أن عمارة المنشآت المنفوخة بالهواء وصلت إلى مرحلة النضج من خلال تطور برامج الحاسب الآلي وأنها وصلت إلى دقة بالغة في تجسيد وحساب العناصر المنفوخة بالهواء. كما أن التطور الذي طرأ على المواد المستخدمة في هذا النوع من البناء جعلها في متناول اليد خصوصاً أن الأغشية التي تحاكي الطبيعة ستغزو الأسواق قريباً. فقاعات الصابون والأغشية الخلوية قادرة على التأقلم اللحظي للإجهاد والضغط الواقعين على أسطحها الخارجية في حين وحتى اليوم لم تتمكن الأغشية الصناعية من التأقلم إلا في الحدود الدنيا – في حالتي الالتواء ونقص الضغط. الأغشية الجديدة "الذكية" قادرة على إحداث تغيير حقيقي في الشكل والتحكم في ذلك التغيير وباستطاعتها إحداث نقلة في أداء المنشآت المنفوخة بالهواء.

المظهر الخارجي للقاعة مختلف عن الشكل التقليدي للخيمة والذي عرف به أغلب المباني المؤقتة. ومن المثير للاهتمام أن الحرص على تفسير الأشكال البيولوجية (الطبيعية) قد نحى باتجاه الأشكال غير المتماثلة – الاتجاه الذي ضيق واسعاً وحدَّ من ثراء البحث والتطوير. خلال الفترة التاريخية القصيرة من عمر المنشآت المنفوخة بالهواء عانى بعضهم من أشكال مبالغ فيها أو أشكال بشعة أو أشكال نمطية، أو كل ما سبق.

وتعتقد كيمبيان أن التطور الذي طرأ على تصميم المنشآت الخفيفة قد أعاد تعريف "ليس فقط كونها وسيلة تدعم المباني القابلة للتمدد والانكماش، ولكن كمادة بناء ذكية باستطاعتها أن تحدث تحول متغير للحجم والفراغ وكل ذلك في متناول العمارة السائدة"، وكذلك "المنشآت المنفوخة وسيلة ممكنة للتعرف إلى بعض احتمالات مكانية جديدة؛ نتيجة التطور المستمر في العالم الرقمي"

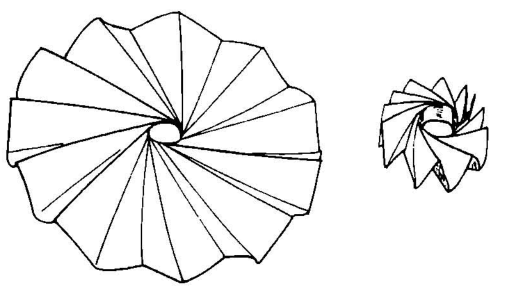




٣٩+٤٠

٣٩-٤٠. مسقط وقطاع لقاعة منفوخة تنبض "بالحياة" من خلال فراغات منحنية غير متماثلة وأحجام متداخلة ونظام إنشائي بإيقاع ديناماكي- من تصميم جوديت كيمبيان.

الهياكل الإنشائية القابلة للتمدد والانكماش:



يعد النفخ بالهواء أحد التقنيات المستخدمة أيضاً في الهياكل الإنشائية القابلة للتمدد والانكماش فالهواء ينفخ الغلاف الإنشائي ليتمدد ويصل إلى شكله النهائي. وهناك في الطبيعة مخلوقات مثل الديدان وشقائق النعمان تشبه إلى حد ما الهياكل الإنشائية القابلة للتمدد والانكماش، لكن تلك المخلوقات تنتهج طرقاً مختلفة للتمدد والانكماش فتارة عن طريق الانتفاخ وتارة عن طريق العضلات كما في الديدان، وتارة عن طريق ضخ مياه البحر كما في شقائق النعمان [٢٣] الجسر الملفوف من تصميم توماس هيذرويك (الأشكال ٤١ و٤٢ و ٤٣) أفضل مثال لهيكل إنشائي استخدم آلية تمدد وانكماش تشبه إلى حد كبير استخدام العضلات. يتكون الجسر من مجموعة فقرات تشبه تماماً سلسلة العمود الفقري مرتبطة مع بعضها بنظام هيدرولوكي يعمل عمل العضلات في عمليتي التمدد والانكماش، فعند تمدد العضلات الهيدروليكية يتمدد الجسر ليغطي المسافة إلى الطرف الآخر ويسمح بعبور المشاة، أما عند انقباض العضلات الهيدرولكية فيلتف الجسر على نفسه تاركاً المسافة مفتوحة لعبور القوارب.

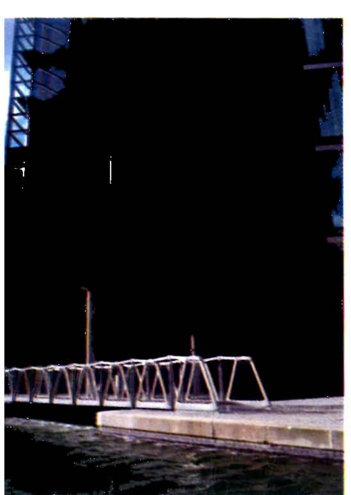


٤٥

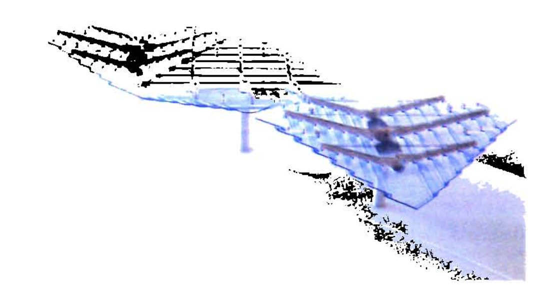
نوع آخر من الهياكل القابلة للتمدد والانكماش يعتمد على استخدام ميكانيكية تحرير شكل منقبض ومطو مسبقاً إلى شكل منبسط وواسع (الشكلان ٤٤ و٤٥). الأمثلة الطبيعية المشابهة لهذا النمط الإنشائي كثيرة واسترعت انتباه المصممين المقلدين للطبيعة، ومن تلك الأمثلة أوراق شجر الزان وأجنحة أنواع من الخنافس. ظلت المنشآت القابلة للتمدد والانكماش مثار اهتمام التطبيقات العسكرية وغزو الفضاء؛ بسبب الحاجة إلى شكل منقبض يسهل نقله في حيز ضيق ويسهل تحوله إلى شكل ممتد وواسع.

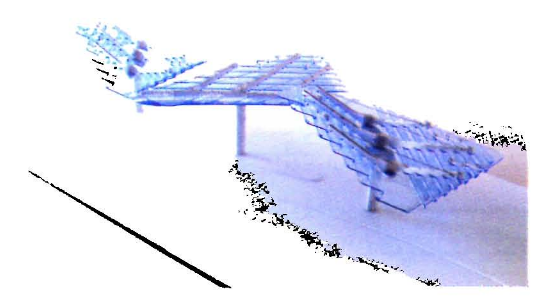


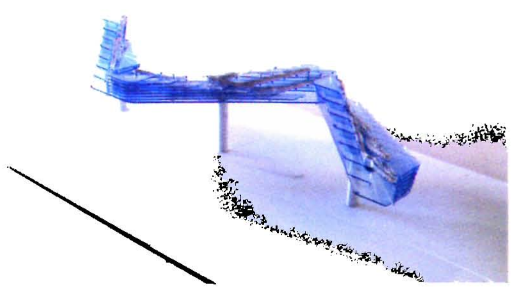




شوك هوبيرمان هو أحد رواد الهياكل الإنشائية القابلة للتمدد والانكماش، ويظهر جلياً تأثره بأمثلة من الطبيعة حين صمم مظلة متنزه متحركة (الأشكال ٤٦ و٤٧ و ٤٨)، وكذلك بودوراش الذي صمم خيام ساحة مسجد الحسين (الشكل ٤٩) وهي عجيبة في تشابهها مع تفتح بعض الورود من براعمها. الهياكل المتحركة التي تسمح بالتكيف مع أوضاع مختلفة تنسجم تماماً مع محاكاة الطبيعة؛ لأن المنشأة حينئذ تتصرف كما يتصرف كثير من الكائنات الحية – تعديل الشكل أو السلوك بما يتوافق مع الظروف المتغيرة. صمم هوبيرمان أكثر الهياكل الإنشائية أناقة وأكملها نضجاً في مجال الهياكل المتحركة القابلة للتمدد والانكماش والتكيف مع أوضاع مختلفة، بعض تلك الهياكل يمكنها التحرر على أجزاء لتغطية فضاء ردهة داخلية وحمايتها من أشعة الشمس. إن مزيداً من المعرفة العلمية في مجال التمدد والانكماش في الطبيعة ربما يقودنا أيضاً إلى مزيد من التحسينات في الشكل وكفاءة الطاقة في مجال البناء من صنع الإنسان.







٤٦-٤٨

٤١-٤٣. "الجسر الملفوف" من تصميم توماس هيذرويك أفضل مثال لهيكل إنشائي بنظام هيدرولوكي يعمل عمل العضلات في عمليتي التمدد والإنكماش.

٤٤. منشأة قابلة للطوي والتمدد تشبه بعض الزهور من تصميم قيست وبيلليقرينو "نشر وصفها في ورقة علمية عن "التفاف أغشية مسطحة نحو الداخل"

٤٥. زهرة اللبلاب تنغلق وتنفتح بسرعة حينما تكون الظروف المحيطة ملائمة.

٤٦-٤٨. "مظلة مستوية ومتحركة" واحدة من المنشآت القابلة للتحوير والتمدد من تصميم شوك هوبيرمان.

٤٩. خيام ساحة مسجد الحسين من تصميم بودو راش.



٤٩

الهياكل القائمة على الحياكة والربط والتعاضد الإنشائي:

الهيكل القائم على مبدأ التعاضد الإنشائي هو الذي يغطي بحراً واسعاً يتجاوز طول أي من عناصره الإنشائية، كما أن كل عنصر يدعم نفسه ويقوم أيضاً بدعم العنصر المجاور له (فيما يشكل منظومة من عناصر إنشائية يعضد بعضها بعضاً)

كثيراً من أعشاش الطيور تجسد مبدأ التعاضد الإنشائي خصوصاً عندما يكون البحر المراد تغطيته واسعاً – مثلاً تكون المسافة بعيدة بين فروع شجرة ولا تكفي أطوال الأعواد بناء العش لتغطيتها. حينئذ تستخدم أعواداً قصيرة لتغطية المسافة بين كل عنصرين متعاضدين مائلين باتجاه بعضهما ليتكون في نهاية المطاف الهيكل الأساس للعش. بينما تظهر أعشاش بعض الطيور وكأنها ركام بدائي للأعواد يعتمد في ثباته على مجرد الجاذبية والتلامس، فإن طيور أخرى تستخدم تقنيات تثبيت مختلفة لتثبيت عناصر العش الإنشائية مع بعضها ببعض.

طائر القرقف طويل الذيل واسمه العلمي اللاتيني (Aegithalos caudatus) يستخدم مزيجاً من شرانق بيض العنكبوت الملفوفة بخيوط العنكبوت والأوراق الصغيرة للطحالب الخضراء ليتحول العش عندئذ إلى شريط مثبت (Velcro) طبيعي يزيد من تماسك العش بالأغصان[٢٥]

هناك أمثلة كثيرة أخرى تعتمد على إنتاج سائل لاصق من إفرازات الجسم ومنها المخاط اللعابي الذي يفرزه طائر السمامة لتثبيت عشه داخل أبراج المداخن واسمه العلمي اللاتيني (Chaetura pelagica)، ومن تقنيات التثبيت استخدام مسامير بارزة من الحرير لتثبيت العش بأوراق الشجر الكبيرة وهي الطريقة التي يستخدمها الطائر الصغير صياد العناكب واسمه العلمي اللاتيني (Arachnothera longirostra)[٢٦]. وطائر القرية النساج (الشكل ٥٠) واسمه العلمي اللاتيني (Ploceus cucllatus) يبني أكثر أعشاش الطيور تعقيداً ويستخدم تقنيات الحياكة في نسج عشه ويتقن ستة أنواع من الغرز وهي غرزة حلقية وغرزة نصف ربطة وغرزة ربطة كاملة وغرزة عصابة وغرزة مائلة وعقدة بسيطة.

هناك في المقابل أمثلة رائعة من صنع الإنسان استخدمت تقنيات مشابهة مثل جسر لكسمور بكلية إيتون من تصميم





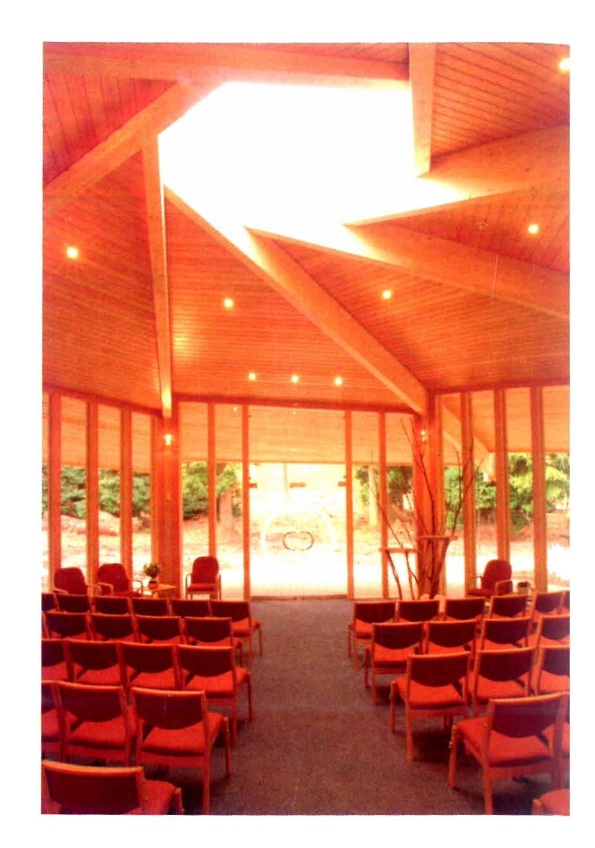
عش طائر القرية النساج الذي يتقن ستة أنواع من الغرز.

٥١. جسر لكسمور بكلية إيتون من تصميم مكتب المحترف الأول وجامي ملك كول.

٥٢. مقبرة غابة إيبنق مثال للمنشآت الخشبية القائمة على التعاضد الإنشائي من تصميم غراهام بروان، منقولاً عن كتاب "من العدم"

الصناعية. في الحقيقة، نحن نتعمد أن لا تتحرك المباني كي يشعر الناس بالأمان والطمأنينة. لكن النتيجة الحتمية لذلك هي أن كمية المواد المستهلكة في الهياكل الإنشائية الصناعية تبدو غير أنيقة مقارنة بالأشكال اللينة في الطبيعة.

الفرق الآخر هو أن الإنسان استخدم المعدن في البناء في حين أن الطبيعة لم تفعل ذلك، أيضاً توجه الإنسان إلى الجمود في التصميم في حين أن الأشكال في الطبيعة تتطور بصمود ومتانة. ولتوضيح هذه النقطة سنستشهد بعظام ساق الغزلان، فبدلاً من عظام مستقيمة تمنح أقصى متانة كما يظن بادئ الأمر؛ نجد أن عظامها معوجة اعوجاجاً خفيفاً حتى تتمكن من امتصاص أقصى حمل مفاجئ نتيجة وثبها العالي هرباً من عدو مفترس. لا نجانب الصواب إذا قلنا إن الجمود في التصميم هو أحد انحرافات القرن العشرين؛ لأن كثيراً من الأنظمة الإنشائية في العمارة التقليدية تعمدت استخدام أخشاب معوجة للسبب نفسه الذي ذكرناه سابقاً في سيقان الغزال- حتى تصمد بشكل أفضل.



مكتب المحترف الأول (الشكل ٥١)، وكذلك مسرح سيوا بنراكو للدمى من تصميم كازو هيرو إيشي (الشكل ٥٢). إن التطبيقات المباشرة لهذه النظم الإنشائية الطبيعية وتحويلها إلى نظم من صنع الإنسان ما زالت -في حد علمي- بحاجة إلى مزيد من البحث والاكتشاف. النتيجة الأهم هي أن المنشآت القائمة على الحياكة والربط والتعاضد الإنشائي يمكن أن تدلنا على كيفية استخدام القليل من العناصر الإنشائية وكيفية بناء مبانٍ فخمة واسعة البحور دون الحاجة إلى عوارض ودعامات ضخمة.

الفرق بين الهياكل الإنشائية البيولوجية (الحيوية) والهياكل الإنشائية الهندسية:

إذا استثنينا الهياكل القابلة للتمدد والانكماش التي من صنع الإنسان؛ فإن عنصر الحركة هو أهم فارق بين الهياكل الإنشائية البيولوجية (الحيوية) مثل الأشجار؛ والهياكل الإنشائية

الاستنتاج:

يوضح كثير من الأمثلة السابقة إمكانية ترشيد استهلاك المواد عن طريق التدبر في الأنظمة الإنشائية البيولوجية (الحيوية)، ومنها: نظام معالجة الأسطح الرقيقة المستوية، ونظام الأعصاب وقدرته على المنافسة بسبب خفة وزنه، ونظام القباب والقشريات وقدرته على مضاعفة كفاءة ترشيد المواد عشر مرات، ونظام الأغلفة الرقيقة المضغوطة والذي يرفع تلك الكفاءة إلى مئة ضعف. وبالاطلاع على أحدث ما توصلت إليه المعارف والعلوم؛ سيتمكن المصممون من محاكاة آيات الإبداع في الطبيعة والتفكر في أسباب هذا الإبداع من أجل الخروج بأنظمة إنشائية أكثر جمالاً وأكثر كفاءة.

في الفصل القادم سنرى الفرق بين المواد التي نستخدمها وتلك التي تستخدمها الطبيعة. وسنتعلم أيضاً كيف نستفيد من الطبيعة في تصنيع المواد بطريقة بنائها جزيئاً جزيئاً تقريباً.



كيف نصنع المواد؟

تحيك العناكب خيوطها بواسطة مصفوفة مغازل تنتج جداول متجاورة من البوليمرات ثم تنسج في خيط بواسطة الأرجل الخلفية للعنكبوت (الشكل ٥٣). ويكون خيط العنكبوت بعد جفافه أقوى من ألياف كيفلر (هي علامة تجارية لألياف الأراميد أو مادة البولي أميد الاصطناعية أو ألياف مشابهة تحت مسميات أخرى واستخدمت بديلاً للفولاذ وهي أقوى ما صنعه الإنسان حتى اليوم). هناك أيضاً تباين كبير في طريقة التصنيع. إن إنتاج ألياف الأراميد يتطلب غلي البترول في حمض الكبريتيك إلى درجة غليان تقارب ٧٥٠ درجة سلسيس. يتعرض الخليط بعد ذلك إلى ضغط عالٍ لتثبيت الجزيء ويتولد من تلك الإجراءات كميات كبيرة من المخلفات السامة. إذن يتم الإنتاج تحت درجات حرارة وضغط عال جداً واستهلاك ضار للموارد في حين ينتج العنكبوت خيوطاً مكافئة تحت ظروف عادية من درجات الحرارة والضغط الجوي ويستهلك موادَّ أولية مكونة من أجسام الحشرات الميتة والماء. إذن أمامنا الكثير لنتعلمه في مجال التصنيع.

وليس مثال ألياف الأراميد أعلاه حالة استثنائية، إذ إن مراحل التصنيع عند الإنسان تبدأ بطرق تستهلك مخزوناً هائلاً من الطاقة وتنوعاً في الأساليب من سحق وصهر وتكرير وتشكيل، ومن ثم معالجات لاحقة من طلاءات واقية ولاصقة. وصفت جانين بينيوس مراحل التصنيع عند الإنسان بوصفها نتاجاً لعقلية "التسخين والطرق والمعالجة" والتي لا تقارن مع إيجابيات مراحل التصنيع في الطبيعة [٢٨]. يبدو أن من واجبنا محاولة محاكاة كفاءة الطبيعة والاستفادة منها في مراحل التصنيع عند الإنسان خصوصاً أننا نواجه تحديات جمة مثل قلة الموارد وأزمة النفط والتغير المناخي.

نحن نتعامل مع الموارد بطريقة خطية تعتمد على الإسراف والتلوث، بينما تحافظ الطبيعة على الموارد عن طريق تدويرها في حلقات مغلقة. تنتج أساليبنا الصناعية بانتظام انبعاثات سامة يبقى أثرها الضار في البيئة إلى أجل غير مسمى، في حين حين تنتج الطبيعة سموماً -وهي حالات نادرة جداً- تتحلل تلك السموم بمجرد أن ينتهي الدور المناط بها. الفوارق بين طريقة الإنسان وطريقة الطبيعة في التصنيع والاقتصاد تبدو أكثر وضوحاً حين نتمعن في عدد عناصر الجدول الدوري التي استخدمت في الطريقتين. تقريباً ٩٦٪ من كل شيء حي مكون من أربعة عناصر: الكربون، والأكسجي،ن والهيدروجين ،والنيتروجين. أما نسبة ٤٪ المتبقية فمكوناتها تقريباً سبعة عناصر: الكالسيوم، والفسفور، والبتاسيوم، والكبريت، والصوديوم، والكلوراي،ن والمغناسيوم. وهناك أيضاً عدد قليل آخر من عناصر نادرة لكنها تستخدم بكميات صغيرة للغاية. إذن تستهلك الطبيعة قدراً محدداً من عناصر الجدول الدوري، في حين أننا عملياً نستهلك كل عنصر في الوجود بما في ذلك عناصر كان الأفضل بقاؤها في المعامل.

وصف البروفسور جوليان فينسيت تكوين الطبيعة لمركبات تشبه تلك التي يصنعها الإنسان، إلا أنها تستخدم البروتين والسكريات فقط، وتمتد تلك المركبات من البلوميرات وصولاً إلى المركبات العالية المتانة [٢٩] على الرغم من وجود بعض المعادن ضمن العناصر النادرة المشار إليها أعلاه (أغلبها ضروري لإتمام عمليات بيولوجية مختلفة) إلا أن الكائنات الحية في الواقع لا تصنع أي شيء من المعادن.ومن ثم قد يجادل البعض أن المواد المستدامة الحقيقية هي المواد التي تنبت ويعاد تدويرها عن طريق التحلل الطبيعي. وفي رأيي أنها وجهة نظر متطرفة، فليس من الضروري كون الطبيعة لا تصنع شيئاً من الألمنيوم مثلاً أن نكون كذلك. الذي نستطيع القيام به هو تطبيق

٥٣. غدد المغزال على بطن العنكبوت الذي يفرز نسيجاً أقوى من أي شيء صنعه الإنسان حتى اليوم. (الصورة بواسطة شركة دينيس كونكيل للفحص المجهري).

بعض مبادئ إدارة الموارد في الطبيعة على المعادن والفلزات آمنة الاستخدام. قد نجد أيضاً بدائل مستوحاة من محاكاة الطبيعة لكثير من التطبيقات التي تستخدم المعادن، وقد تستهلك تلك البدائل طاقة أقل في التصنيع وتأثيراً أقل على الطبيعة.

من المهد إلى المهد:

إعادة التفكير والنظر في مشاكل المواد والتصنيع كان الدافع وراء كتاب رائع بعنوان "من المهد إلى المهد" من تأليف وليام مك دونف وميشيل براونقارت. تناول الكاتبان الطريقة التي تصنع بها معظم المنتجات وهي طريقة "من المهد إلى اللحد"، حيث تعيش المنتجات بعضاً من الوقت ثم يتم التخلص منها بحرقها أو رميها في مكب للنفايات. نقوم بالطبع بتدوير كميات بسيطة لكن أكثر المنتجات المصنعة من إعادة التدوير أقل جودة من المنتجات الأصل وهذا ما سماه المؤلفان "إعادة تدوير تنازلية" - بمعنى معالجة المواد مرة تلو أخرى حتى تصبح عديمة الفائدة. البلاستيك مثال جيد من حيث إعادة تدويره إلى منتجات مثل فرش الحدائق ولكن ذلك يتم على حساب نقاء المادة. منتج كهذا يتم تصنيعه من خليط مكون من عشرة أصناف بلاستيكية أو أكثر وهو ما يجعل من الصعب عملياً فصلها لاحقاً عن بعضها. إذن كل ما تفعله طريقة إعادة التدوير التنازلية هو مجرد تأخير التخلص من المنتج في مرمى النفايات.

على نحو متزايد، يحاول المصنعون تصنيع منتجات أفضل وربما تحتوي على كميات أقل من الفورمالدهيد أو كميات أكبر من المحتويات المعاد تدويرها أو بأي طريقة أخرى، ولكن كتاب «من المهد إلى المهد» يصف بوضوح كيف أن المنتج "الأقل سوءاً» ليس مثله كمثل المنتج «الجيد». وفي الوقت نفسه، هناك منتجات تحتوي على مركبات وعناصر سامة ما زال تأثيرها ساري المفعول في البيئة - تسبب أحياناً اضطرابات في الغدد الصماء؛ نظراً لتشابهها الكيميائي مع الهرمونات البشرية. وعدد الحيوانات المنوية في الرجال الأوربيين اليوم يعادل نصف عددها عند أجدادهم

وصف مك دونف وبراونقارت منتجات معينة بوصف مميز ألا وهو "هجائن بشعة". إنها مواد ومركبات خلطت وجمعت مع بعضها لتخرج لنا منتجات غير مجدية اقتصادياً عند إعادة تدويرها أو تفكيكها إلى مواد أولية بعد نهاية عمرها. ولنضرب لذلك مثالين من قطاع الإنشاء وهما بلاطات الأدوار المركبة ووحدات الزجاج المزدوج. في المثال الأول تصب الخرسانة في قالب حديدي محبوك بطريقة معقدة بحيث يصعب فصلهما عن بعضهما، أما المثال الثاني فغالباً يتم معالجة ألواح الزجاج بطلاء ذي موصلية حرارية متدنية (وهو الأمر الذي يلوث معالجة الزجاج في حالة إعادة تدويره) ثم تلصق الألواح بشدة باستخدام الربط الكيميائي والسيلكون والألومنيوم والربط عن طريق التجفيف - ومرة أخرى بطريقة تصعّب أي محاولة لمعالجة تلك المواد مستقبلاً من ناحية الجدوى الاقتصادية.

وضع مك دونف وبراونقارت السؤالين التاليين "هل يمكن أن يوجد نموذج تصنيع مختلف كلياً؟ ماذا يعني أن يكون المنتج جيداً ١٠٠٪؟" لقد قررا أن يستبعدا تماماً فكرة المخلفات باتباعهما لأنظمة الطبيعة والبقاء على كل المواد في أحد الدورتين: "البيولوجية" و"التقنية". الدورة البيولوجية تحتوي على الألياف الطبيعية والأخشاب وما شابههما من المواد التي تنمو وتستهلك إلى أن تتحلل طبيعياً في نهاية عمرها بوصفها منتجاً، ثم يعاد امتصاصها في الطبيعة وتتحول إلى سماد يغذي موادَّ أخرى. الدورة التقنية تحتوي على المعادن والفلزات وبعد استخراجها وصقلها يكون الهدف الإبقاء عليها في النظام بصفة دائمة (دون أن تتحول إلى مخلفات).

عرض مك دونف وبراونقارت حالات دراسية من واقع التصميم الصناعي وتصميم المنتجات، لكننا سنعرض الآن وبشكل مختصر كيف يتم تطبيق مبادئ كتاب "من المهد إلى المهد" على طيف واسع من مواد البناء مع حلول تُحاكي الطبيعة[٢١]

حلول ضمن "الدورة التقنية"

يقترح قراهام دود من شركة أروب وسيلةً تندرج تحت فكرة "من المهد إلى المهد"، إنه يرى أن إحدى وسائل تصنيع وحدات زجاجية معزولة هي في تصنيع زجاج طيفي منتقى يحاكي الطبيعة. لا تعتمد الألوان الطبيعية على أصباغ وتكسيات بل على "ألوان هيكلية" ذات بنية مجهرية تكسر الضوء بدلاً من أن تعكسه، ومثال ذلك أجنحة الفراشة الزرقاء متعددة الألوان (الشكل ٥٤). لذلك بالنسبة للزجاج، يمكن تصميم بنية نانونية من مادة الزجاج نفسها لها نفس أداء التكسيات منخفضة التوصيل الحراري والتي تصنع اليوم بوصفها مادة منفصلة. وحتى لا نكرر إنتاج شكل آخر من "الهجائن البشعة"؛ فإن من المهم استخدام طريقة البلاستيك الحراري لإلصاق المواد مع بعضها؛ لأن تلك الطريقة تسهل كثيراً إعادة الفك ومن ثم إعادة التدوير مقارنة مع ما نشاهده اليوم. قد لا يتفوق الأداء الحراري للمنتج الجديد على ما هو قائم حالياً لكن علينا أن نتذكر أنه على الرغم من أهمية ترشيد استهلاك الطاقة وما يرتبط بها من تقليص للانبعاثات الكربونية، إلا أنه ليس التحدي الوحيد الذي نواجهه. قد نجد أن عدداً غير قليل من الحلول المستدامة ليست بالضرورة الخيارات الأفضل لخفض الانبعاثات الكربونية.

قد نكتشف إمكانية تطبيق الألوان الحيوية على منتجات أخرى ما زالت تستخدم تكسية الدهانات. في صناعة المعادن مثلاً ما زال موضوع التكسية إشكالاً بطبيعته؛ لأنه من المؤكد أن المنتج سينتهي بوصفه أحد مصادر التلوث. بعض الدهانات التي تعالج بها المعادن تُستخدم بهدف التلوين لكن معظمها يستخدم حمايةً من العوامل الجوية. تستطيع المواد الحيوية إصلاح ذاتها في حين أن مواد البناء الصناعية جامدة وستظل كذلك حتى وقت قريب، ويستثنى من ذلك بعض المواد والتي ستناقش لاحقاً في هذا الفصل. وبالنتيجة سنرى زيادة في استخدام المعادن المقاومة بطبيعتها للظروف الجوية مثل الألومنيوم والفولاذ المقاوم للصدأ والفولاذ الكورتيني. وسنشهد أيضاً تقدماً هائلاً في تقنية البناء مثل المعادن الرغوية وتشكيلات أقراص العسل والتي ستحقق زيادة أكبر في كفاءة المواد.

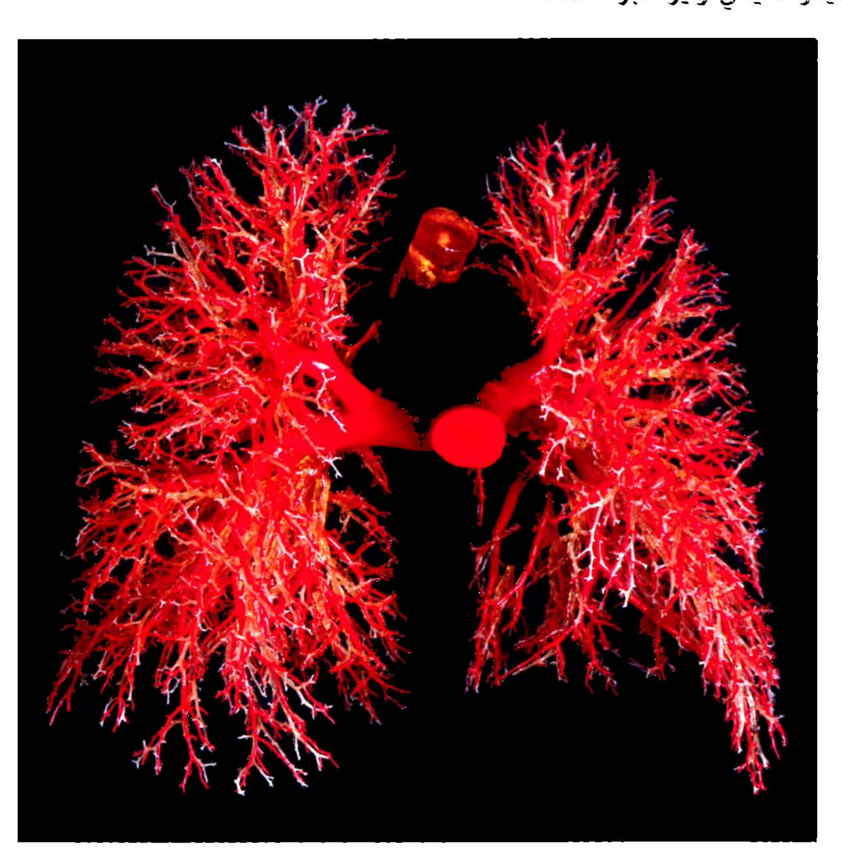


تعدد الألوان على أجنحة الفراشة الزرقاء ناتج عن بنية مجهرية تنتج التأثير اللوني عن طريق كسر الضوء بدلاً من عكس طيف محدد من الضوء.

تستفيد الخرسانة من كل أنواع المنتجات الثانوية الناتجة من عمليات تصنيع أخرى. لكن تكمن المشكلة في الإسمنت: لأنه يمنع إعادة الاندماج الكلي ومن ثم لا يلبي شروط الدورة التقنية. ونتيجة لذلك يصعب إعادة تدوير ركام الخرسانة. قد يتحسن الحال كثيراً عند استخدام أسمنت البوليمر الترابي في تشكيل نوع من الخرسانة قابلة لإعادة التدوير. يمكن استخدام حلول جيدة أخرى باستخدام الإسمنت البوزولاني وغيره من المركبات الإسمنتية الطبيعية التي تبقي الصخور مترابطة. من المرجح أن تحافظ الخرسانة على صفاتها بوصفها مادة كربونية عالية التركيز. لذلك لا بد من الجدية في رفع كفاءة الأداء حين الاستخدام. الخرسانة كذلك وعاء جيد للتخزين الحراري ولا بد من الاستفادة القصوى من تلك الميزة بكشف الأسطح الداخلية للأسقف والجدران. خُلقت رئتا الإنسان بإبداع لتبادل الغازات عبر مساحة أسطح فعالة تساوي مساحة ملعب تنس (الشكل ٥٥). إن تبني إستراتيجية تصميم مماثلة للخرسانة سيزيد من قدرتها على التخزين الحراري مقارنة بالبلاطات الخرسانية وهذا يعني توفيراً أكبر للطاقة.

الحويصلات الهوائية في رئتي إنسان بالغ تسمح بتبادل الغازات عبر مساحة أسطح فعالة تساوي تقريبا مساحة ملعب تنس.

هل يمكن لدبور الطين أن يدلنا على طريقة تصنيع مواد مضغوطة مثل الطين المضغوط بطريقة تستهلك طاقة أقل؟



تواجه الدهانات التي تكسو الخشب تحديات تشابه تلك التي تواجهها المعادن فمعظم الدهانات الحالية ومواد النهو الحافظة ستنتهي إلى مصدر للتلوث. سنعرض لاحقاً لطرق ثورية عدة يمكن أن نبدأ بها لاستخدام المواد الحيوية، ولكن في وضعنا الحالي يتم اختيار الخشب إما لمقاومته الطبيعية للظروف الجوية (مثل: خشب السنديان، وخشب الصنوبر، وخشب الأرز الأحمر الغربي) وإما يتم اختيار منتجات خشبية معالجة بطريقة غير سامة لإطالة العمر مثل: الخشب المعالج حرارياً أو خشب الأكويا. الخشب المعالج حرارياً يتم تسخينه لمدة قصيرة ولكنها مركزة حتى يكون غير قابل للهضم من قبل الميكروبات، في حين أن خشب الأكويا يحقق النتيجة نفسها بالإضافة إلى تثبيت محتوى الرطوبة وذلك باستخدام حمض الخليك وهو مركب كيميائي طبيعي وحميد. الخياران يؤهلان الخشب للعودة ضمن الدورة الحيوية بعد نهاية الاستخدام.

استخدم التراب المضغوط كأحد مواد البناء منذ قرون عدة وبدأ بالعودة مجدداً؛ نظراً لقلة تأثيره السلبي على الطبيعة بالرغم من عيوبه الجسيمة في العزل. يتم صناعته تقليدياً بضغطه يدوياً في قوالب عن طريق العمال أو ضغطه آلياً عن طريق كوابس هوائية. من المفيد دراسة كيف تستخدم الحيوانات التراب في البناء بدون أدوات للبناء. دبور الطين (الشكل ٥٦) واسمه العلمي (Trigonopsis) يختار مادة طين ذات تناسق صحيح ومحتوى مناسب من الرطوبة، ثم يمسك بكرية الطين ويضعها على الحائط المراد بناؤه ثم يصدر صوت أزيز يجعل تلك الكرية تتحول إلى قوام سائل[٣٢] عند تسليط الأزيز على الكرية الطينية تهتز، ونتيجة لذلك تقل لزوجة الطين، وبذلك يحصل الدبور على طين مكبوس ولكن باستخدام أقل قوة ممكنة[٣٣] يقوم بعض الحيوانات وبالأخص الطيور بخلط الطين مع ألياف نباتية لزيادة تحمله لإجهاد قوى الشد والضغط - بطريقة مماثلة لوظيفة أسياخ الحديد في الخرسانة المسلحة.

يمكن تصنيع البلاستيك من راتينجات نباتية ومن ثم إعادة تدويره للتربة واستخدامه بوصفه مغذيات حيوية بشرط تجنب إضافة المواد السامة والتكسيات. لكن علينا أن نعلم أن معظم الإنتاج النباتي في الوقت الحالي يستهلك كميات كبيرة من وقود النفط وكيماويات زراعية؛ لذلك فمن الأفضل في المنظور القريب على الأقل تصنيع البلاستيك مباشرة من النفط أو من المخلفات الزراعية، ومن ثم الإبقاء على البلاستيك بوصفه مادة تندرج ضمن الدورة التقنية.



حالة دراسية:
رحلة "بلاستيكي" الاستكشافية:

سميت حملة بلاستيكي على اسم رحلة سبق أن قام بها كون تيكي عام ١٩٤٧ ، أما هذه الرحلة الاستكشافية فقد قام بها عالم الأنثروبولوجيا ثور هيردال وأصل الفكرة بدأها ديفيد دي روشيلد لجذب الانتباه إلى مشاكل التلوث في المحيط وتحديداً في منطقتين واسعتين تملأهما النفايات العائمة وتقعان في الدوامات التي تشكلت بواسطة أمواج المحيط وتعرفان ببقعتي نفايات المحيط الهادئ. مساحة كل بقعة منفردة تضاهي مساحة ولاية تكساس وأغلب محتوياتها نفايات بلاستيكية إما على شكل مجموعات (وهذه بدورها تؤثر على حياة الطيور والثدييات البحرية) وإما على شكل لدائن صغيرة بمقياس ميكروسكوبي نتيجة تحلل البلاستيك بفعل الأشعة فوق البنفسجية، وتمتص هذه اللدائن نفايات أخرى تزيد من سرعة امتصاصها ضمن سلسلة الغذاء البحري. هذه السلسلة تحديداً من أكثر سلاسل الغذاء تلوثاً لدرجة أن الأمهات في الأسكيمو نُصحن بعدم إرضاع أولادهن من حليبهن الطبيعي؛ بسبب ما يحويه من مستويات عالية من السموم جعلته يصنف من النفايات الخطرة. وتعد بقعتا نفايات المحيط الهادئ مثالاً واضحاً لما نحن عليه من نموذج خاطئ يستخدم الموارد بطريقة خاطئة تنتج النفايات والتلوث. وملخص الرحلة الاستكشافية هو تصميم قارب مصنوع من قوارير البلاستيك بدلاً من مادة الفيبرجلاس التي غالباً ما تصنع منها القوارب بحيث تبحر عبر المحيط الهادي في رحلة استكشافية تسلط الضوء على المشاكل التي تواجه المحيطات وكذلك الحلول التي يجب تنفيذها. بالعمل مع الرحلة الاستكشافية ضمن فريق معماري لتطوير أفكار أولية لتصميم القارب؛ اتفق الفريق على صياغة نموذج مثالي لتصميم قارب يمكن إعادة تدويره بالكامل في نهاية الرحلة ويولد طاقته الذاتية ولا ينتج عنه أي ملوثات. أيضاً كان من المهم أن نستخدم قوارير البلاستيك كما هي دون محاولة إذابتها وإعادة تشكيلها في ألواح ومن ثم استخدامها في بناء القارب.

كان أول تحدٍّ هو كيف نحول مادة ضعيفة (قوارير بلاستيك) إلى هيكل إنشائي يصمد في وجه القوى التي غالباً ما تصادف الرحلات البحرية في المحيط الهادئ. نظر الفريق إلى أمثلة كثيرة في الطبيعة ومنها الرمان الذي يتكون من أجزاء منفردة مجتمعة بطريقة هندسية في حيز ضيق، ملئت الفراغات بين أجزاء الرمان باللباب وغلف الجميع بقشرة صلبة من الخارج. يتسم الشكل النهائي بتركيب مرن جداً ويستمد قوته من الضغط الداخلي للأجزاء باتجاه الغلاف الخاص بها. قادنا ذلك إلى تصميم غير مسبوق: ضغط الهواء بداخل كل قارورة – طريقة بسيطة حولت القوارير إلى أجسام صلبة للغاية وقد أثبتت التجارب أن مجرد ضغط الهواء يجعل قارورتين بلاستيكيتين قادرتين على تحمل وزن سيارة.

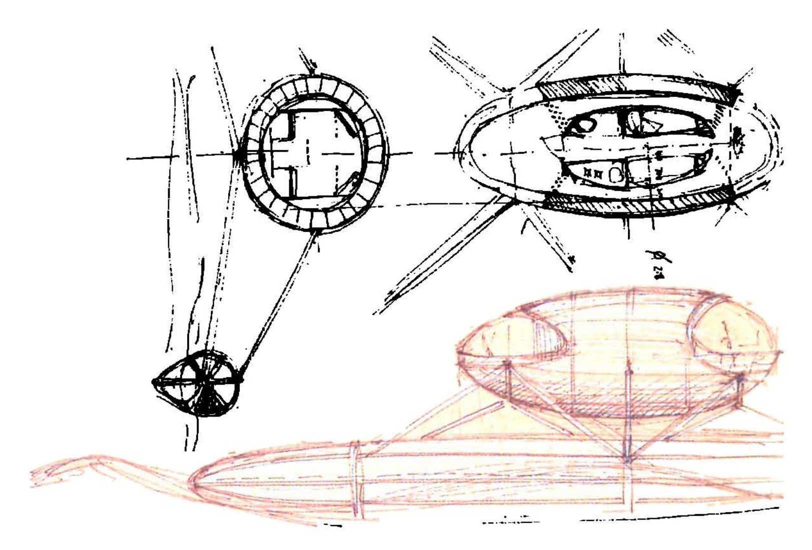
من السهل على حزمة من القوارير أن تطفو على الماء لكن لا بد من البحث عن مادة أساسية لشد القوارير وتأطيرها. اكتشف الفريق مادة تسمى "SrPET" (البولي ايثيلين تيريفثاليت المقوى) المطور حديثاً من نفايات قوارير البلاستيك. الجانب الجديد في هذا المنتج أنه من مادة واحدة ولكنه ينتج على هيئتين: ألياف وقوالب. الألياف عبارة عن سلاسل من اللدائن المستقلة، أما القوالب فهي عبارة عن لدائن متشابكة مثل خيوط المعكرونة. تشبه قوة تحمل مادة "SrPET" متانة الفيبرجلاس ولكنها تتفوق عليه بسهولة التدوير إلى ما لا نهاية وبدون أن تفقد جودتها أو مادتها- وهذا ما يسمو إليه المبدأ التصميمي " من المهد إلى المهد"، بينما أن الفيبرجلاس يصنع باستخدام راتنجات سامة ويصعب إعادة تدويره. في الحقيقة أنه يمكن إعادة تدوير القوارير ومادة "SrPET" لتصنيع منتجات بقيمة عالية مثل سترات صوفية يتم المزايدة عليها من أجل جمع الصدقات.

عُممت فكرة محاكاة الطبيعة على كامل المشروع بما في ذلك مقصورة القيادة من تصميم ناثالين كورم أحد منسوبي جماعة "العمارة من أجل الإنسانية"، كذلك استخدم ولأول مرة لاصق مستخرج من المواد اللاصقة التي يفرزها بلح البحر* وبالإصرار والروح التي سادت أجواء المشروع، صممت أنظمة الطاقة والنفايات إلى مستوى الصفر الكربوني وبدون أي انبعاثات إلى المحيط أو الغلاف الجوي.

*كائن بحري رخوي يعيش في المناطق الساحلية.

٥٧. مجسم الفكرة الأولية لقارب رحلة "بلاستيكي" الاستكشافية من تصميم المستكشف.

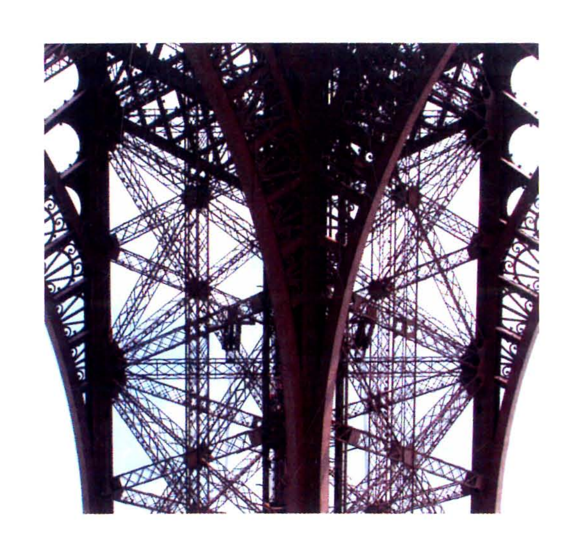
٥٨. مسودة رسم لقارب رحلة "بلاستيكي" الاستكشافية يوضح جسم القارب المصنوع من حزم قوارير بلاستيكية.



بعيداً عن الخلاف في تحديد نطاق عناصر الجدول الدوري ومدى استغلالها بيولوجياً وهندسياً؛ هناك فروقات مهمة بين المنتجين لخصها كل من ستيفين فوقل وجوليان فينسينت [٣٤]، وهي كالتالي:

المنتج البيولوجي	المنتج الهندسي
بناؤه تسلسلي هرمي.	بناؤه غالباً أحادي أو قليل أو عديم التسلسل الهرمي.
تسمح روابطه البينية بالتحكم المستقل بالصلابة والهشاشة.	روابطه البينية قليلة ومن ثم تحكم ضعيف بالهشاشة.
ينمو من خلال التكيف التراكمي.	يتم تصنيعه باستخدام مساحيق ومذيبات ومحاليل.
تجميعه ذاتي ويتأثر بالبيئة.	يتم تشكيله بتأثير خارجي مفروض عليه.
يتجاوب مع البيئة.	قليل الاستجابة للبيئة.
قادر على النمو والترميم.	يهلك بسبب التقادم.

وفي الفقرة التالية سنفحص كل هذه الموضوعات وتأثيرها في التصنيع المحاكي للطبيعة.



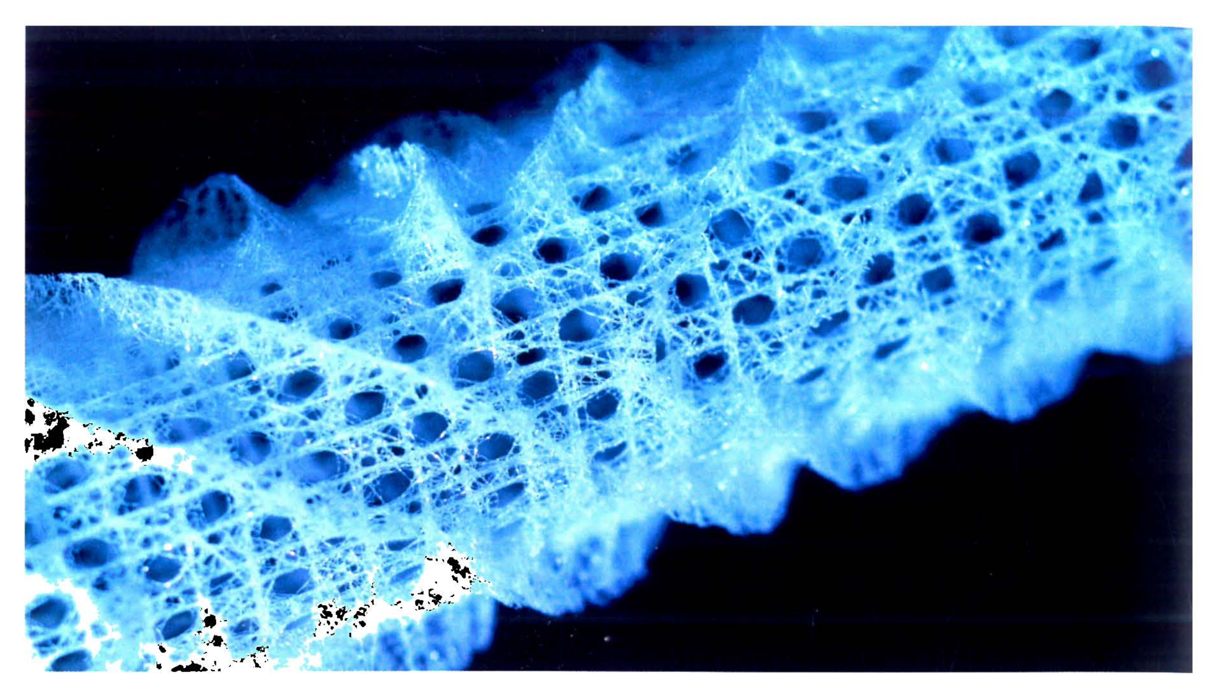
التدرج والتفاعل:

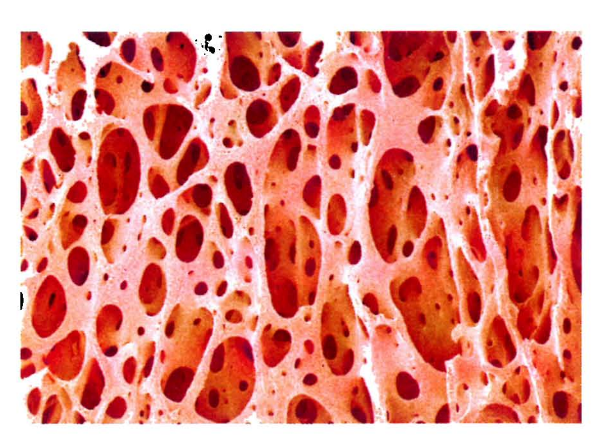
ربما أن أفضل وسيلة لشرح التسلسل الهرمي هو في طرح أمثلة تستعرض تصميم الجسور. أحد الطرق الممكنة لسد أي فجوة معتبرة بين نهايتين هو في استخدام دعامتين فولاذيتين صلبتين تجلسان على رصيفين مهيئين عند النهايتين، هذا هو نموذج البناء الأحادي بدون تسلسل هرمي. الطريقة الأكثر فعالية هي في استخدام دعامتين فولاذيتين ولكن بتصميم جملوني. التصميم الجملوني يفصل بين العناصر التي تتحمل قوى الضغط وبين العناصر التي تتحمل قوى الشد وبمجرد الفصل بين العنصر العلوي الذي يتحمل الضغط والعنصر السفلي الذي يتحمل الشد؛ يكون العمق الإنشائي أكثر فعالية، هذا هو نموذج لمستوى واحد في التسلسل الهرمي. لنفترض أننا ذهبنا خطوة للأمام وقمنا بفصل العناصر الإنشائية التي تتحمل الضغط ووضعناها على شكل صندوق جملوني مستقل ثم فصلنا العناصر الإنشائية التي تتحمل قوى الشد ووضعناها على شكل كيابل من الفولاذ المجدول. هذا هو نموذج لمستويين في التسلسل الهرمي. إذن كلما زادت مستويات التسلسل الهرمي زادت فعالية المنشأة من حيث كمية المواد المستخدمة لتحقيق غاية محددة. ويعد برج إيفل (الشكل ٥٩) مثالاً لثلاثة مستويات من التسلسل الهرمي، ومعظم المهندسين من بني البشر يستخدمون مستوى واحداً من التسلسل الهرمي وغالباً لا شيء بالمرة. في الطبيعة، يندر أن نجد أقل من ستة مستويات من التسلسل الهرمي ومن ثم يكون الأداء أكثر تميزاً، بسبب فعالية تصميم الروابط الإنشائية سواء كان ذلك على مستوى الجزيء أو أعلى. الإسفنج الزجاجي* واسمه العلمي (Euplectella) (الشكل ٦٠) يوضح إبداع الطبيعة في تصميم المواد.

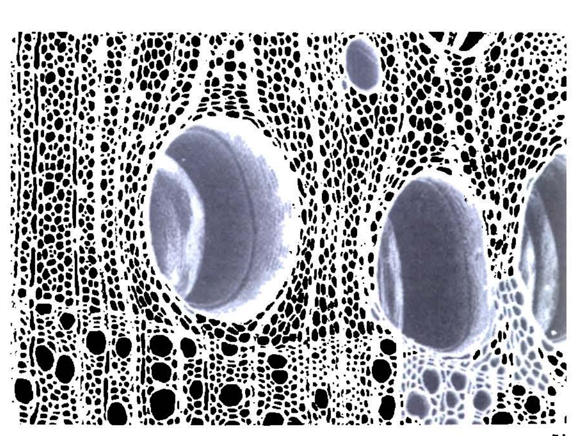
قد تحتار في الفرق بين المواد والبناء وهذا مبرر جداً؛ لأن الطبيعة لا تفرق بين الاثنين. الطريقة التي تشيد بها الطبيعة البناء هي من الأسفل باتجاه الأعلى، جزيء جزيء، بمعنى أن كل مادة بيولوجية نراها هي أيضاً بناء بيولوجي. الخشب (الشكل ٦١) على سبيل المثال ما هو إلا جدار خلوي خشبي في بنيته المصغرة ، والعظم (الشكل ٦٢) بناء هرمي متسلسل لفوسفات الكالسيوم وجزيئات الكالوجين على شكل ليفي رقيق ذي مسامات مجسمة. البناء ذو التسلسل الهرمي قادر على التحكم في الصلابة

---

*كائن إسفنجي بحري.







٦١

٥٩. جمالونات ضمن جمالونات ضمن جمالونات في برج إيفل يوضح ثلاثة مستويات من التسلسل الهرمي.

٦٠. سلة زهرة فينوس من الإسفنج الزجاجي (كائن إسفنجي بحري) واسمه العلمي (Euplectella) أوجد من السيليكا في درجة الحرارة والضغط الجوي العادي على خمسة مستويات أو أكثر من التسلسل الهرمي.

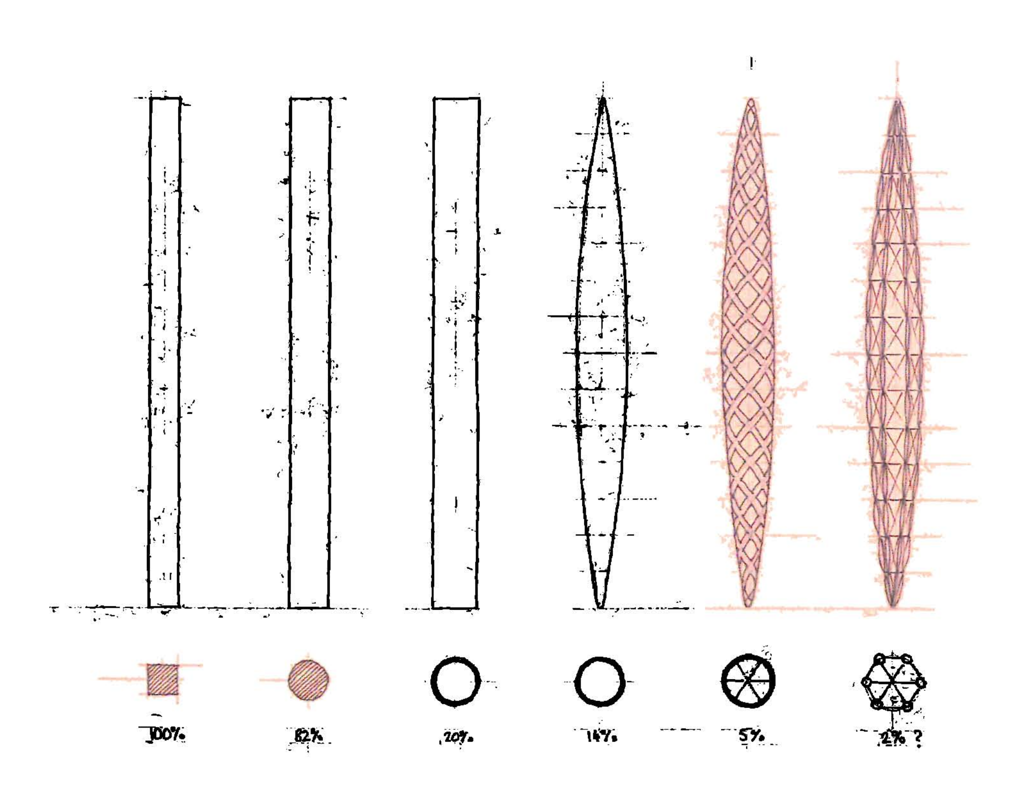
٦١. مسح مجهري إليكتروني دقيق يوضح البنية المصغرة لخشب البلوط واسمه العلمي (Quercus Robur).

٦٢. مسح مجهري إليكتروني دقيق لنسيج عظام إسفنجي التركيب.

والهشاشة ويتحقق ذلك عن طريق الأربطة بين المستويات وداخل كل مستوى هرمي. المثال الأكثر وضوحاً لهذه المعلومة هو قوقعة أذن البحر، كما سبق أن أشرنا إلى ذلك. وتبنى القوقعة من صفائح من الأراغونيت (نوع من كربونات الكالسيوم) ممسوكة معاً بعجينة مرنة من اللدائن. في هذا المثال تعد اللدائن الوسيط الفاصل بين الصفائح وهذا أمر مشاع تقريباً في كل مواد الطبيعة حيث إن المواد التي تستخدم في مواقع الربط أضعف من المواد المحيطة بها. وكما وضّح جي إي جوردن في كتابه "العلم الجديد للمواد القوية" "لا يعني هذا أن الطبيعة غير قادرة على لصق الصفائح بشكل مناسب بل لربما أن ذلك إبداع متعمد حتى يمكن للروابط الضعيفة أن تزيد من صلابة مادة الصفائح وجعلها أكثر قساوة"[٣٥]. الصلابة بالمفهوم الهندسي هي مقاومة الهشاشة، وعلى الرغم من أن قوقعة أذن البحر مكونة من مادة الطباشير نفسها إلا أنها تصل إلى ٣٠٠٠ ضعف في الصلابة بفضل بنائها المتسلسل هرمياً وبنية روابط البناء بها.

التكيف التراكمي والتصنيع بالإضافة:

التحدي التالي هو في احتمالية تصنيع مواد بناء قابلة للنمو، ليس بالمعنى الحرفي للنمو الحيوي ولكن بمعنى التكيف أو البناء الذاتي الذي يحاكي العمليات الطبيعية. حقق بناء المجسمات الأولية السريعة سبقاً علمياً للمصممين في عصر الثورة الرقمية لأنها استطاعت تحويل الرسومات الرقمية ثلاثية الأبعاد مباشرة إلى مجسم بناء بدقة عالية جداً وبدون الحاجة إلى عمليات شاقة لبناء مجسم كما في الطرق الاعتيادية. إنه لمن محاسن الصدف أن تقنية بناء المجسمات عن طريق الحاسب تقارب فكرة التصنيع في الطبيعة والتي تأخذ منحى «من الأسفل باتجاه الأعلى» ومن ثم تضع المادة في المكان الصحيح حيث يجب أن تكون. والمحصلة هي أن تقنية بناء المجسمات تلك يمكنها تحقيق فعالية أفضل لاستهلاك المواد من خلال تركيب أنضج للشكل. لقد تطورت التقنية إلى درجة أن كلفة العتاد أصبحت أرخص ونطاق المواد التي يمكن استخدامها أوسع ليس فقط لصنع مجسم دراسي، ولكن أيضاً لعناصر مصنعة.

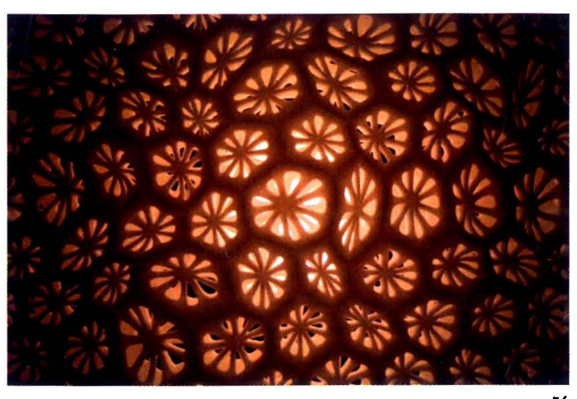


أكد المصمم جيوف هولينقتون، وهو المرجع في التصنيع السريع المعروف اختصاراً بـ (RM)، على أن تقنية بناء المجسمات عن طريق الحاسب تقف منافسة أمام ثلاث طرائق تقليدية لصنع الأشياء عرفت منذ القدم والتي يمكن تلخيصها في: القطع والصب والتشكيل (القطع مثل نحت الخشب وتشكيل حجر الصوان والقطع الحديث، والصب مثل قولبة الفخار والصلصال وصهر المعادن وصب البلاستيك، والتشكيل مثل الطعج والطرق والكبس) [36]. بناء المجسمات عن طريق الحاسب تدعم طريقة رائدة في التصنيع تعتمد على تقنية "الإضافة" التي تقارب بناء الجزيئات في الطبيعة بطريقة التصنيع "من الأسفل نحو الأعلى". مكائن التصنيع السريع متوفرة الآن بحيث تسمح باستخدام خليط من المواد على شكل محلول ذرات متناهية الصغر ينفث عن طريق بخاخ يشبه بخاخ الطوابع الحبرية. ترتبط جزيئات المادة الصغيرة جداً مع بعضها مكونة حبيبات المادة بأقل طاقة ممكنة كما في قُوَى فان در فالس (الكهرباء الساكنة). لو أمكن خلط مادة تنتهي إلى منتج صلب المظهر مع مادة أخرى تنتهي إلى منتج لين الشكل؛ فإن المنتج النهائي للخليط سيكون صلباً جداً (مستغلاً الروابط البينية)، أو مرناً جداً، أو يتأرجح بين هذا وذاك على طول المنتج.

قد يعطي هذا انطباعاً بأنا وصلنا إلى تقنية مساوية لتقنية الطبيعة في عمليات النمو. لسنا هناك بعد ولكن ذلك قريب المنال جداً. ما نحتاجه مثالياً هو استخدام مادة خام بيولوجية ونجعلها ذاتية التجميع في سلسلة من اللدائن (بوليمرات) ثم نتحكم في طريقة تجميع اللدائن.

السيلولوز هي إحدى أكثر المواد الطبيعية الواعدة، وهي مصدر غير مستغل من إنتاج الوقود الحيوي من الطحالب بالرغم من سهولة استخلاصه لأن الطحالب لا ترتبط مع جدران خلية السيلولوز من خلال عملية التخشب (عملية طبيعية من أجل التدعيم والتقوية). مادة السيلولوز من أكثر المواد الحيوية وفرة ويمكن تجميع بلوراتها متناهية الصغر ضمن سلسلة من اللدائن (البوليمرات)[37] التحدي القادم الذي يجب التغلب عليه هو كيفية تجميع تلك السلاسل اللدائنية (البوليميرية). بالتأكيد نحن بحاجة إلى فوهات طابعة تصنيع سريعة تضاهي ما تستطيع مغازل العنكبوت عمله وهذا بالطبع خارج حدود الاستطاعة. تمكن العلماء من إنتاج خيوط من بوليمرات مركبة "طبيعية" مثل الحرير ، الكولاجين وأشكال لولبية بسيطة، وإن لم تكن عملية الإنتاج سريعة ومستمرة. إن وتيرة التنمية في التصنيع السريع (RM) باستخدام المعادن تعطي بعض المؤشرات عن التطوير المستقبلي للتقنية. التصنيع السريع للعناصر المتخصصة مثل الأجزاء الصغيرة جداً والدقيقة وكذلك المزروعات الطبية (مثل زراعة الأسنان وزراعة أدوات السمع) هي الآن صناعة راسخة ومن المؤكد أنها ستنمو لتشمل تطبيقات مهمة أخرى. إن أكثر إن لم يكن كل طرق التصنيع السريع (RM) تجري في ظروف عادية من الحرارة والضغط الجوي ومن ثم توفر فرصة أفضل لمزيد من التصنيع بطاقة منخفضة مقارنة بالتصنيع بالطرق التقليدية. الهدف الأسمى من محاكاة الطبيعة هو تصنيع مكونات بناء كبيرة من بوليمرات (لدائن) طبيعية مثل السيلولوز أو حتى الكيتين الأكثر صلابة (أحد مكونات المادة الصلبة التي تغطي القشرة الخارجية للسرطانات والأطراف اللادغة في الحشرات) بمستويات هرمية متعددة من أجل فعالية ومرونة أكبر.

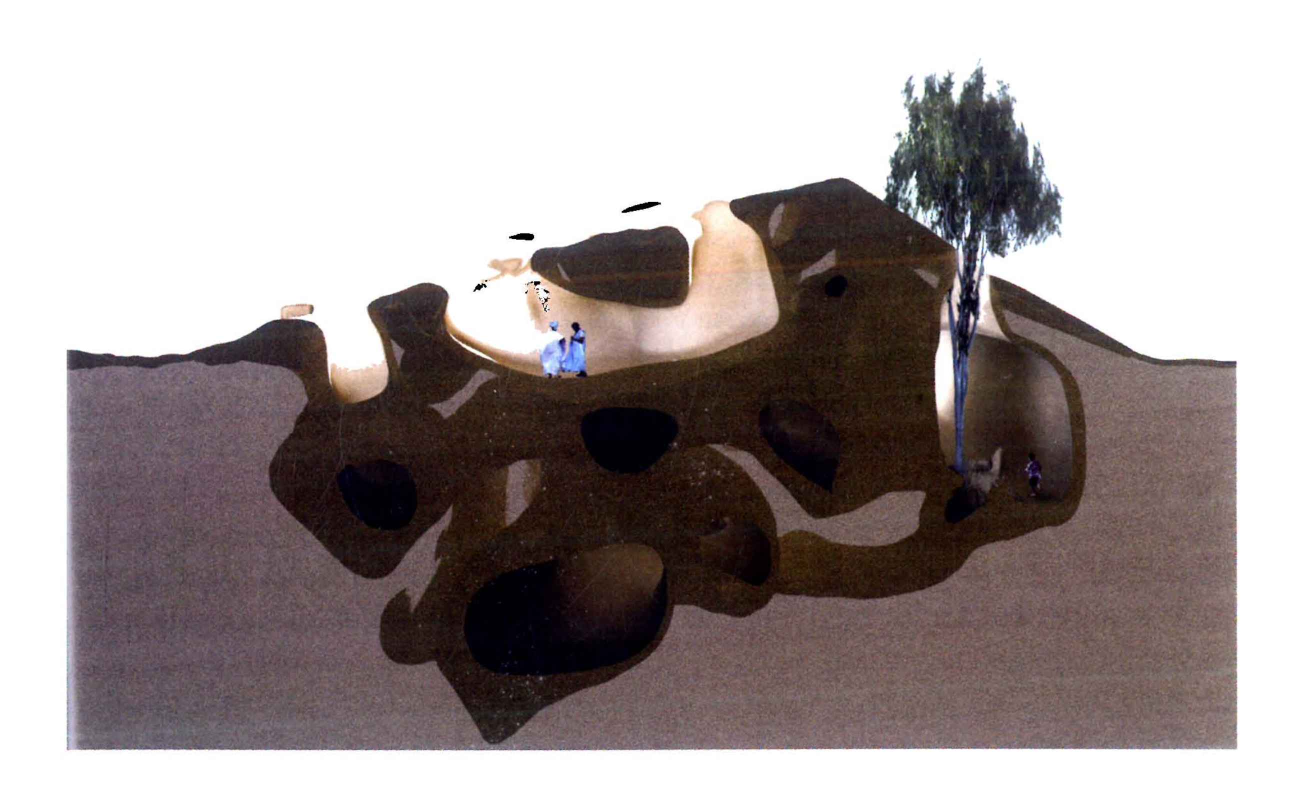
الترسيب الميكروبي هو إحدى الطرائق التي تبشر بمستقبل واعد وبحث في هذه الطريقة جنجر كريج دوسير من الجامعة



٦٤

٦٣. مسودة رسم تشرح كيف أن تحسين مستويات التدرج الهرمي لعنصر إنشائي يحسن من استهلاك المادة إلى ٢٪ فقط من المادة المستهلكة في القطاع المصمت للعنصر.

٦٤. مشكاة بداخلها مصباح من تصميم تانجا سوتر تصنع مجاناً باستخدام تقنية التصنيع السريع/ التجسيد السريع ويظهر دقة التصنيع بفضل تحكم التقنية بالمواد.



الأميركية بالشارقة [٣٨] استخدم لهذا المشروع مكائن تصنيع سريع (RM) لوضع طبقات متتابعة من الرمل وكلوريد الكالسيوم وسماد اليوريا. تقوم التفاعلات الميكروبية بربط المواد مع بعضها مكونة «لبنة» في درجة الحرارة العادية وهو ما يعني إمكانية إنتاج بلكات بناء بدون الحاجة إلى طاقة أفران مكثفة. سعى المعماري ماقنوس لارسون لتوظيف تقنية الترسيب الميكروبي بطريقة مشابهة ولكن بغرض تشكيل تكوينات بنائية في المناطق الصحراوية (الشكل ٦٥).

٦٥. **كثيب رملي – عمارة رملية ضد التصحر من تصميم ماقنوس لارسون الذي وظف تقنية الترسيب الميكروبي لتشكيل تكوين بنائي داخل الكثبان الرملية.**

٦٦. **مخروط الصنوبر يفتح بسبب أن أوراق قشوره مكونة من مادتين تنكمش إحداهما أقل من الأخرى عندما تجف فتنحني القشرة للخارج.**

٦٧. **تمكن كل من ستيفين ريتشيرت وبروفسور أشيم من اكتشاف فكرة مشابهة لمخروط الصنوبر وطورا سطحاً متجاوباً مكوناً من قشرتين. كانت النتيجة سطحاً يفتح ويغلق تلقائياً بدون نظام تشغيل بل بتأثير التغير في مستويات الرطوبة (بناء سطح متجاوب: ستيفين ريتشيرت وبروفسور أشيم مينقيس ٢٠٠٦ /٢٠٠٧).**

التجاوب مع البيئة

المواد التي تشعر وتستجيب للتغيرات البيئية تسمى موادَّ «ذكية». في مجال العمارة، تزخر المباني أيضاً بأنظمة تقوم بالمهام نفسها، لكن يجب هنا أن نوضح الفرق بين الاثنين. أغلب الأنظمة الهندسية يتكون من أداة استشعار ومعالج ومشغل ميكانيكي بينما تعد أداة الاستشعار والمشغل شيئاً واحداً في المادة "الذكية" الحقة ولا يوجد بها مشغل ميكانيكي.

درس مركز محاكاة الطبيعة بجامعة (باث) عدداً من الأمثا ومنها مخروط الصنوبر (الذي يحمل بداخله بذور الصنوبر). يبة المخروط مغلقاً بإحكام طيلة بقائه على الشجرة وبمجرد سقوط على الأرض يبدأ بالجفاف ويتفتح وينشر البذور التي بداخله (الشـ ٦٦). يحدث الانفتاح بسبب أن قشور مخروط الصنوبر بها أور مصنوعة من مادتين تتصرفان مع الرطوبة بطريقتين مختلف فتنكمش إحداهما أقل من الأخرى فتنحني للخارج بالطريقة نفـ التي ينحني بها ثنائي المعدن مع زيادة درجة الحرارة. استعملت الفكرة مع طبقات من نسيج عليها عدد من الثنيات الصغيرة تفتح للخارج عندما يبدأ جسم الشخص المرتدي لها بالتعرق و مرة أخرى عندما يبرد الجسم. وقد أثمرت الفكرة عن لباس بالتنس ارتدته اللاعبة أنا كورنيكوف.







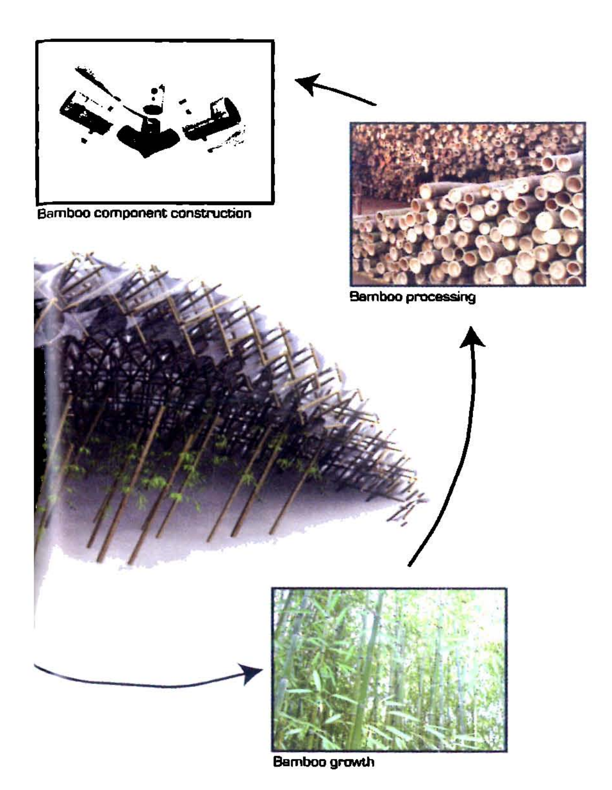
في قسم التشكيل والتجسيم بمدينة أوفنباخ بولاية هسن، طور أشيم مينقيس فكرة أخرى مستوحاة من مخروط الصنوبر باستخدام تركيبات قشرية (الشكل ٦٧) تبقى مستوية أو ملفوفة للأعلى بتأثير مستويات الرطوبة. الفرصة الآن واعدة أكثر من ة أي وقت مضى لتصميم واجهات مبان تتحكم في بيئته الداخلية و بدون مساعدة أي تجهيزات تحكم ميكانيكية. ولكن يظل هناك لا تحديات حقيقية لتكامل هذه الفكرة مع الغلاف الخارجي كل للمبنى خصوصاً عند تلبية معايير الأداء الأخرى لواجهات إز المباني الحديثة مثل العزل الحراري والتحكم في تسرب الهواء.

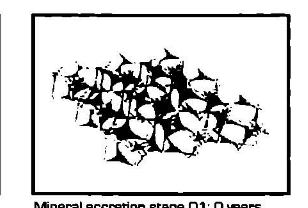
تم يبحث عدد من العلماء عن منتجات بناء مستوحاة من استخدام سم التلألؤ البيولوجي. بينما يعد تركيز انبعاث الضوء عموماً ضعيفاً منجداً، هناك مواد لديها إمكانية التوهج ليلاً. هناك أيضاً مواد التتمتص ثاني أكسيد الكربون من الهواء بالرغم من أن ذلك يتم بتغابطريقة خاملة أكثر منها طريقة ذكية. إن من المتوقع جداً خلال غاموقت وجيز أن يتم تطوير مواد أخرى كثيرة تتجاوب مع تغيرات لبيئة وربما أيضاً تتطور لإزالة التلوث من الهواء.

النمو والإصلاح:

نستخدم عند تشييد البناء مواداً تنمو مثل الخشب على سبيل المثال، ولكن المباني التي نقوم بتشييدها لا تنمو بنفسها ولا تصلح ذاتها. ربما أن ذلك الأمر يشكل فجوة كبيرة بين المنتج البيولوجي والمنتج الهندسي؛ لأن المباني ببساطة ليست منتجاً «حياً» حتى يقارن بكائن حي. يأكل العنكبوت خيوطه

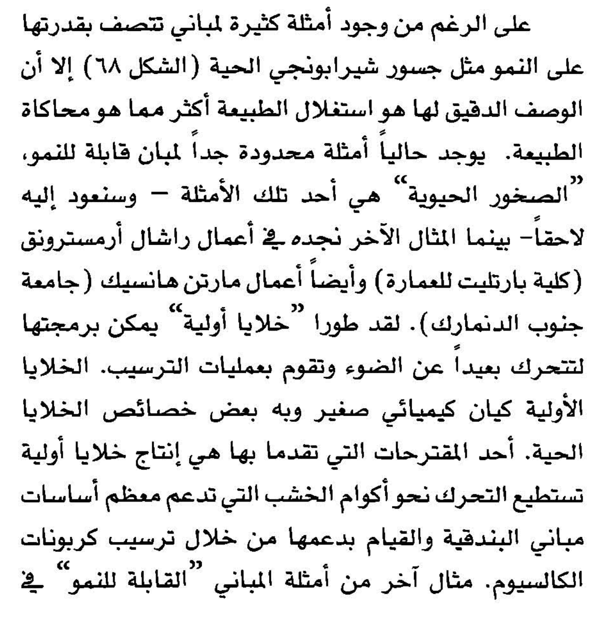






Mineral accretion stage 02: 2 years

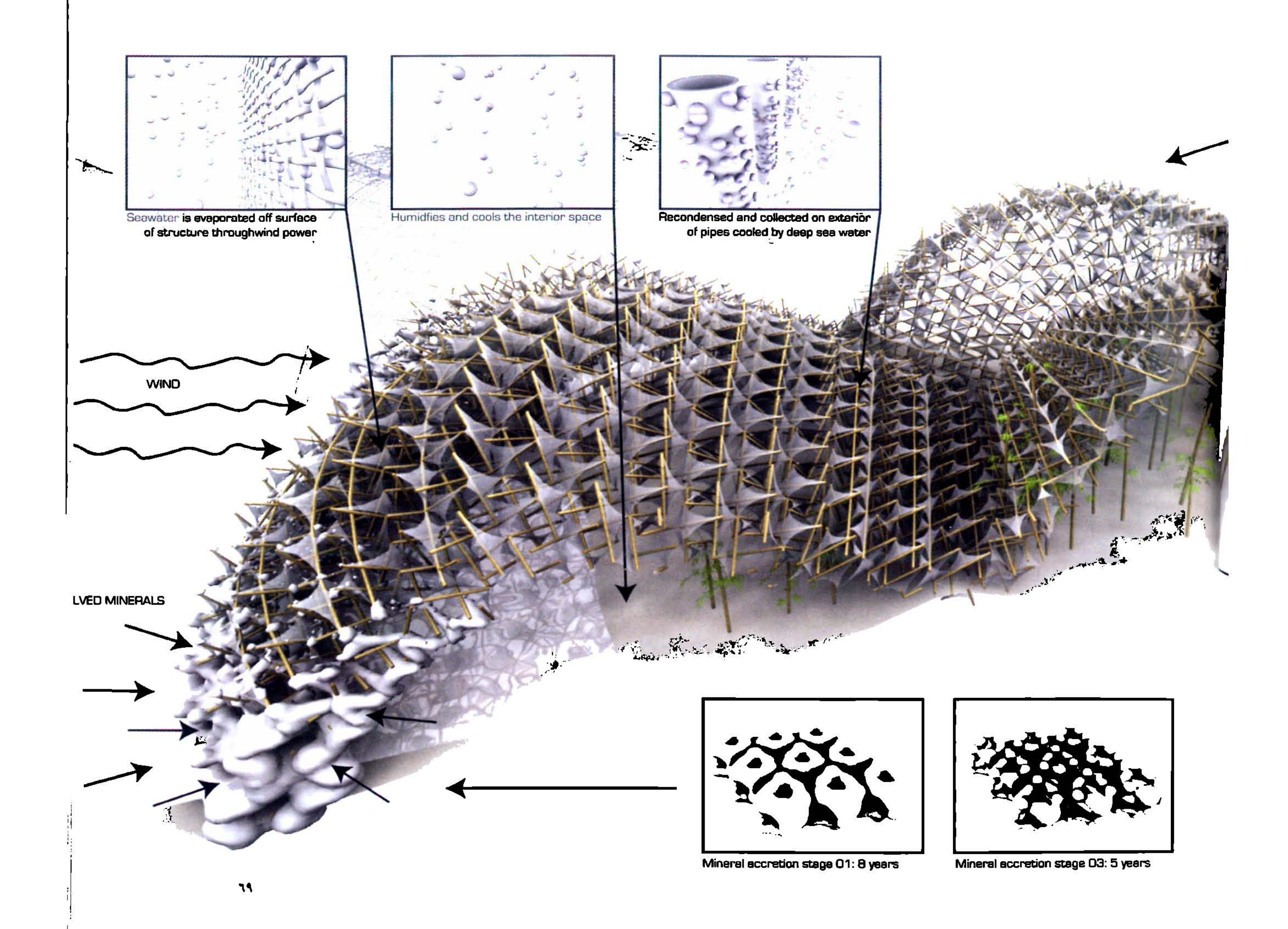
Mineral accretion stage 01: 0 years



ويعيد تدويرها وإنتاجها حينما يشرع في إصلاح بيته، وتذيب السرطانات البحرية بيوتها وتمتص معظم أصدافها لتعيد استخدامها عند بناء أصداف جديدة. وبالمقارنة، يبدو أن منهجيتنا في التشييد ما زالت بدائية والتقدم فيها منوط بتمكننا من التصنيع بتقنية الإضافة واستخدام مواد قليلة الاستهلاك للطاقة. عندئذ يمكن للمباني أن تنمو أو تصمد استجابة لمتطلبات البيئة.

على الرغم من وجود أمثلة كثيرة لمباني تتصف بقدرتها على النمو مثل جسور شيرابونجي الحية (الشكل ٦٨) إلا أن الوصف الدقيق لها هو استغلال الطبيعة أكثر مما هو محاكاة الطبيعة. يوجد حالياً أمثلة محدودة جداً لمبان قابلة للنمو، "الصخور الحيوية" هي أحد تلك الأمثلة – وسنعود إليه لاحقاً- بينما المثال الآخر نجده في أعمال راشال أرمسترونق (كلية بارتليت للعمارة) وأيضاً أعمال مارتن هانسيك (جامعة جنوب الدنمارك). لقد طورا "خلايا أولية" يمكن برمجتها لتتحرك بعيداً عن الضوء وتقوم بعمليات الترسيب. الخلايا الأولية كيان كيميائي صغير وبه بعض خصائص الخلايا الحية. أحد المقترحات التي تقدما بها هي إنتاج خلايا أولية تستطيع التحرك نحو أكوام الخشب التي تدعم معظم أساسات مباني البندقية والقيام بدعمها من خلال ترسيب كربونات الكالسيوم. مثال آخر من أمثلة المباني "القابلة للنمو" في أعمال توبي بورقيس الذي طور مشروعاً معمارياً للتخرج بعنوان «سقالات المعادن المتراكمة» وفيه يقترح تبخير مياه البحر بوصفه وسيلة لتراكم كربونات الكالسيوم على هياكل من الخيزران (الشكل ٦٩).

من السهل أن نجد مواد تقوم بإصلاح نفسها. طورت د.كارولين دراي (جامعة إلينوي) نوعاً من الخرسانة تحتوي على ألياف جوفاء مشبعة بمادة لاصقة ومحشوة في الخليط بحيث لو حصل شرخ في الخرسانة تقوم الألياف بالانقطاع وملء



٦٩

الشرخ بالمادة اللاصقة ومنع تقدمه [٣٩]. طور د. هينك جونكيرس من الجامعة التقنية بمدينة دلفت نسخة من "خرسانة حيوية" قادرة على إصلاح نفسها تحتوي على بكتيريا تنتج الحجر الجيري تنشط عند حدوث شقوق في الخرسانة طور أيضاً بوليمرات (لدائن) قادرة على إصلاح ذاتها وتستخدم بفعالية في خزانات الوقود وغيرها من السوائل التي تحتاج إلى احتواء آمن. إن الفوائد الجلية والمجنية على المستوى التجاري تشجع على الاستمرار في تطوير حلول مستوحاة من الطبيعة وقادرة على إصلاح ذاتها.

٦٨. جسور شيرابونجي الحية- مثال لبناء ينمو وما زال حياً.

٦٩. سقالات معدنية متراكمة من تصميم توبي بورقيس قائمة على فكرة تبخير مياه البحر بوصفها وسيلة لترسيب كربونات الكالسيوم.

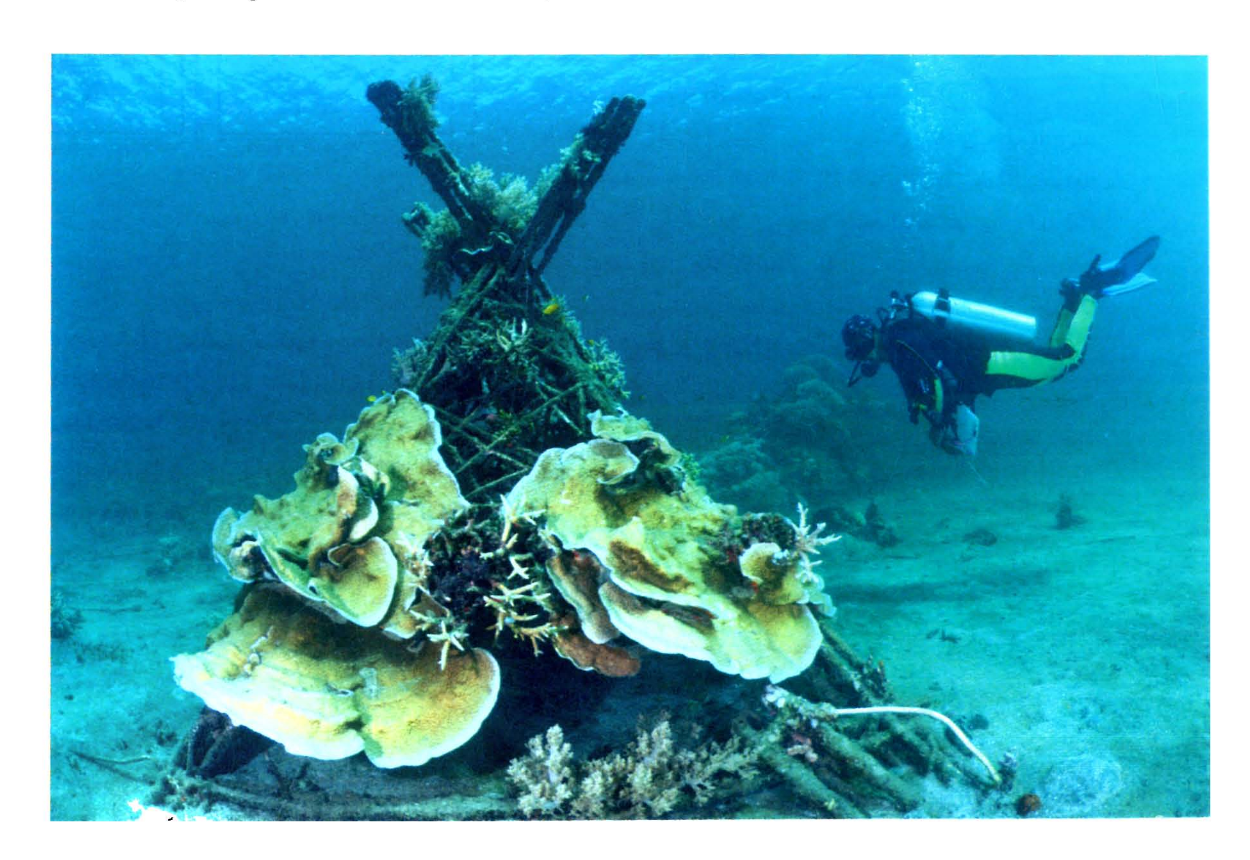
حالة دراسية:

الصخور الحيوية:

إن فكرة مبنى ينمو في إطار شكل محدد مسبقاً فكرة جذابة جداً، الصخور الحيوية كما في (الشكل ٧٠) توضح إمكانية تنفيذ الفكرة. بدأ عالم الأحياء البحرية ثوماس جي جورو والمهندس المعماري ولف هيلبيرتز في عام ١٩٧٠ باستخدام تقنية الطرد الكهربائي في مياه البحر لتشكيل بناء بحري تراكمي. صنعا هيكلاً من الفولاذ الحديدي المسلح وغمراه بمياه البحر ثم مررا به تياراً كهربائياً منخفض الجهد للمحافظة على سلامة الحياة البحرية وبما يكفي لإذابة المعادن إلى بلورات تترسب على السطح الخارجي للهيكل.

كانت خطة هيلبرتز الأصلية توفير بناء منخفض التكلفة للدول النامية، ولكن حينما قابل جورو توصل إلى أن فكرته تملك إمكانيات أكبر لإصلاح الشعب المرجانية. في البداية تتكون طبقة من المعادن على الهيكل الحديدي بعد أيام قليلة من غمره بمياه البحر ثم يصير بيئة مناسبة لاستقطاب أنواع من الشعب المرجانية التي تبدأ فوراً بالالتحام والنمو. إن الحماية التي يمنحها الهيكل الفولاذي وتجمع الشعب المرجانية عليه والتيار الكهربائي المنخفض الجهد –كما يدعون- كل ذلك يساهم في جذب أنواع أخرى من الحياة البحرية بما في ذلك الأسماك والقشريات والأخاطيب وقنافذ البحر. تنمو الشعب المرجانية بثبات وتدرج حتى تصير خلال مدة زمنية مستوطنة غنية مثلها مثل الشعب المرجانية الطبيعية وتوفر خدمات مهمة ومنها حماية الشواطئ وهو ما يساهم في تحقيق التوازن البيئي.

نفذت الصخور الحيوية في ١٥ دولة وخضعت لأبحاث عدة لمعرفة خواصها. إن المحتوى المعدني للهيكل يتأثر بالتركيبة الأيونية لمياه البحر والتي يسيطر عليها مركبان هما هيدروكسيد الماجنيزيوم وكربونات الكالسيوم. يصل أعلى معدل لتراكم المعادن إلى ٥٠ مم في العام ويعتمد ذلك على سرعة الترسيب، بينما تتراوح قوة تحمله للضغط من ٢٤ إلى ٥٥ ميجا باسكال (للمقارنة فإن قوة تحمل ضغط الخرسانة العادية تتراوح من ١٧ إلى ٢٨ ميجا باسكال في حين تصل أعلى قوة تحمل للخرسانة إلى ٨٠ ميجا باسكال). تترسب المعادن طالما استمر التيار الكهربائي في المرور عبر الهيكل الفولاذي وتقوم الأجزاء المتضررة بإصلاح نفسها. تستطيع توربينات الرياح البحرية أو بحيرات المد والجزر الضحلة أن تستخدم كمية ضئيلة من فائض الكهرباء لتقوية أساساتها باستخدام فكرة الصخور الحيوية، كما أن توظيف الفكرة في بناء شعب مرجانية يساهم في استعادة أنظمة التوازن البيئي البحري.



النتائج والتحديات المستقبلية:

جاء في كتاب جي إي جوردن بعنوان "العلم الجديد للمواد القوية - الطبعة الثانية" والذي نشر في ١٩٧٦ ما يلي: "وفي حين أن الموضوع ما زال يتطور، فمن المحتمل جداً أن يكون القادم من المواد الهندسية أكثر شبهاً بعينات مطورة من الخشب والعظام وأكثر بعداً عن المعادن المعروفة في العالم الهندسي المعاصر" العقود الثلاثة ونصف العقد التي مضت منذ ذلك الحين أكدت صحة وجهة نظره في ظل التحديات الجديدة من ناحية قيود الطاقة ونضوب الموارد.

أثبتت تقنيات التصنيع السريع أن هناك مجالاً أكبر لتطوير مواد تنتمي للدورة البيولوجية من خلال عمليات تستهلك طاقة منخفضة مقارنة مع الدورة التقنية. التحديات نفسها التي فرضت قيوداً على الطاقة وتسببت في نضوب الموارد ستغير من استخدامنا لمواد تنتمي للدورة التقنية إلى نماذج إدارة بالتدوير تحاكي الأنظمة الطبيعية. إن من السهل تصور أن صناعة عناصر البناء باستخدام السليلوز وتقنية الصناعة السريعة قد تصل إلى معامل توفير طاقة قيمته ١٠٠ مقارنة بالطرق الصناعية التقليدية [٤١].

إن التحول من النموذج الخطي المولد للنفايات والتلوث عند استخدام الموارد إلى نموذج الحلقة المغلقة هو تحول ضروري يجب أن نخوضه من أجل الوصول إلى عمارة حقيقية مستدامة. مفهوم إدارة الموارد من خلال نموذج الحلقة المغلقة لاينفصل ألبتة عن مفهوم التصنيع المحاكي للطبيعة، وكما أشارت جوليان فينسيت ببلاغة إلى ذلك:

> لقد حرمنا على موادنا المصنعة التفاعل مع الطبيعة من خلال تركيب روابط بينيه عالية الطاقة (ومن ثم تحتاج إلى درجة حرارة عالية لفكها مرة أخرى). المواد الحيوية خلقت ليعاد تدويرها وثبتت جزيئاتها بروابط قوية لدرجة تكفي فقط للتأقلم مع ظروف متوقعة من الحرارة والتوظيف الميكانيكي [٤٢].

هذا يقودنا إلى موضوع الفصل القادم: نظم التفكير وإعادة النظر في الأنظمة التي صنعها الإنسان لنصل إلى محاكاة أنظمة بيئية ذات كفاءة رائعة.

صخور حيوية تنمو في مياه البحر بواسطة الترسيب الكهربائي للمعادن وفي هذه الحالة يستخدم بوصفه ركيزة أساسية في إصلاح الشعب المرجانية.



كيف نؤسس نظماً خالية من النفايات «صفر النفايات»؟

موضوع النفايات برمته يحيط به كثير من المتناقضات. فمن جهة هي غير جذابة ولكنها تنطوي على فرص عظيمة، ومن جهة أخرى هي لا تحظى باهتمام كبير من قبل المصممين لكن المشاريع التي اهتمت بها -وإن كانت قليلة- أظهرت براعة فائقة، ومن جهة ثالثة هي تعني للوهلة الأولى "مواد لا قيمة لها" ولكنها تفسر عند آخرين بـ "الفرصة الضائعة" يتناول هذا الفصل كيفية عمل الأنظمة الطبيعية وما الذي يمكن أن نتعلم منها لنعيد التفكير في أنظمتنا الحالية. في الأفق مشهد واضح: علينا أن ننتفع بصورة أكبر من الموارد نفسها (تدوير النفايات) بينما نستمر في التقدم نحو أساليب تشغيل خالية من النفايات "صفر النفايات" وكما أشرت في مقدمة هذا الكتاب فلا بد من التحول من نظام خطي يولد النفايات ويزيد من التلوث عند استخدام الموارد إلى نموذج النظام الحلقي المغلق، إن هذا التحول هو أهم ما يجب تحقيقه.

وفي حين أننا لن نسهب كثيراً في سرد المشاكل؛ فإن من المناسب التعرف ولو قليلاً إلى أهم القضايا. ونظام التخلص من مياه الصرف الصحي الذي وضعه جوزيف بازالقيتي في ١٨٥٩ كان نقلة نوعية كبيرة في مجال الصحة العامة والصرف الصحي. لقد انتقده كثيرون في ذلك الوقت وتنبؤوا بدقة عن خسارة كبيرة للعناصر الغذائية وهو ما حصل بالفعل لاحقاً، خسارة لا مثيل لها في تاريخ الحضارة. جوستس فون ليبيق -النسخة المعاصرة لبازالقيتي- درس نظام الصرف الصحي عند الرومان وكفاءته في نقل كميات معدنية كبيرة من التربة إلى البحر الأبيض المتوسط من خلال نظام تجميع وتحليل غطى كامل الإمبراطورية الرومانية. حث ليبيق رئيس وزراء بريطانيا في حينها على تبني نظام يعيد العناصر الغذائية إلى الحقول البريطانية، ولقد لاحظ بثاقب بصيرته أن "الإزالة المستمرة للفوسفات تدمر التوازن في خصوبة التربة" [٤٣]. وصف أموري لوفينس كيف أن معدل كمية ما يساهم به الشخص الواحد من مواد بالولايات المتحدة الأمريكية ويثقل به كاهل الاقتصاد يساوي يومياً عشرين ضعف وزنه، وأن معدل الفائدة من كل ذلك بعد مضي ستة أشهر لا يتجاوز واحد بالمائة فقط إنه أمر مثير للسخرية لكنه من منظور آخر (إذا أردت أن تكون أكثر إثارة) ينبئ بكارثة، ولكن من وجهة نظر النظم البيئية يمثل ذلك الهدر اليومي للمواد فرصة هائلة لإعادة تدويرها بينما نستمر في التوجه قدماً نحو تحقيق أنظمة خالية تماماً من النفايات (صفر النفايات). إذن، من أهم الدروس التي نتعلمها من النظم البيئية هو أن النفايات فرصة عظيمة.

النظم البيئية الحيوية:

يذكر معظمنا تلك الأشكال التي كنا ندرسها في حصص الجغرافيا والأحياء والتي توضح دورات الكربون والنيتروجين والماء. تقوم النباتات من خلال عمليات التمثيل الضوئي بتحويل ثاني أكسيد الكربون الموجود بالغلاف الجوي إلى سكر، وبإضافة مواد أخرى تصعد من الجذور؛ يمكن للنباتات أن تنمو وأن تنتج الغذاء. يستقر النتروجين في التربة بواسطة نوع معين من النباتات تطور علاقة تكافلية مع بكتيريا تسمى علمياً (Rhizobium). حين يموت النبات تذبل الأوراق وتسقط أو

٧١. بول ستامتس اختصاصي الفطريات الشهير وصف الفطريات "الجزيء الكبير الذي يفك شفرة الطبيعة"

تستهلكها الحيوانات والكائنات الدقيقة، وبذلك يعود الكربون والنيتروجين وعناصر أخرى إلى التربة. الماء (الذي خلق منه كل شيء حي) هو أيضاً وسيط مذيب لكل تفاعل بيولوجي في الكون، ويعاد تدويره من خلال نظم بيئية إذ يتبخر في الهواء ليهطل مطراً مرة أخرى.

ولعل من المناسب التذكير كيف بدأت النظم البيئية وكيف استقرت. إن الأسطح العارية من الصخور تتآكل بفعل تأثير الرياح، والأمطار، والثلوج، الغنية بالمعادن، وهذا الهطول المستمر يساعد على ترسب المعادن في ثقوب وشقوق على سطح الصخور. تساعد الطفيليات وأنواع أخرى في استخراج عناصر غذائية وتشارك في تكوين تربة بسيطة في تلك الثقوب والشقوق. تبدأ بعد ذلك الطحالب والأعشاب في النمو. ومع مرور الوقت وتحلل المواد النباتية، تبدأ طحينة سمراء أو سوداء في التراكم وينتشر في التربة أنواع من الكائنات الحية الدقيقة. وفي نهاية المطاف تنمو نباتات أكبر حجماً تستمر في تغذية التربة مثل شجرة غبيراء الحابلين التي تقوم أيضاً بتثبيت النيتروجين.

في حين أن المثال أعلاه يوضح سلسلة بيئية متتالية وربما بطيئة بعض الشيء، إلا أن وتيرة التسلسل يمكن أن تكون أسرع إذا توفر على سبيل المثال إنزلاق أرضي يعري مساحة أكبر من التربة. يصل بعض أنواع الرعيل الأول من الكائنات الحية الدقيقة بسرعة فائقة، ويقوم بتحويل البيئة تدريجياً لدرجة تسمح بنمو مجموعات نباتية من أنواع أخرى وتشكيل مستوطنة بدائية تقريباً. هذه بدورها تساعد على نمو مستوطنات أخرى ثانوية، وفي الوقت نفسه تكوين بيئات مناسبة لكائنات حية أخرى. هناك تحت الأرض حياة مختلفة تماماً من الديدان والحشرات والفطريات والكائنات الحية الدقيقة. وهكذا تظل الحياة في تسلسل بيئي مستمر حتى تصل إلى أوجها «ذروة النظام البيئي»، والذي يظهر في معظم أجزاء المملكة المتحدة على شكل غابات البلوط. حسناً، متى يصل التنوع البيولوجي إلى مرحلة الذروة؟ قد تكون الإجابة البديهية الأولى عن السؤال أنها تقع في وسط مراحل التسلسل البيئي حين تتنافس أعداد كبيرة من الكائنات على السيطرة. ولكن الصواب أن التنوع البيولوجي يظل مستمراً في الزيادة حتى يصل النظام البيئي إلى مرحلة الذروة، والسبب وراء ذلك يكمن في أنه مع مرور الزمن تزداد أيضاً أعداد البيئات الحاضنة التي تساعد على نمو أعداد من نوعيات مستقلة وتمكنها من البقاء. لخصت جاني بينيوس تلك الخصائص بقولها "توفر الحياة ظروفاً تفضي إلى حياة أخرى" [45]. إذن على قدر اكتمال النظام البيئي؛ تتحسن البيئة وتتنوع بشكل أكبر.

وفي هذه المرحلة قد يكون مناسباً تلخيص بعض الفروقات بين الأنظمة الحيوية والأنظمة البشرية المعاصرة [46]

الأنظمة الحيوية	الأنظمة البشرية
معقدة.	بسيطة.
تدور الموارد في حلقة مغلقة.	تدور الموارد في نظام خطي.
متينة الترابط وتكافلية.	غير مترابطة وأحادية الوظيفة.
متجاوبة مع التغير المستمر.	مقاومة للتغيير.
موفرة "صفر النفايات" [47]	مسرفة.
لا تستخدم سموماً ذات تأثير طويل المدى.	كثيراً ما تستخدم سموماً ذات تأثير طويل المدى.
متنوعة ومتوزعة.	مركزية وأحادية النوع.
تعمل على المتوفر من الطاقة الشمسية	تعتمد على الوقود الأحفوري
التحسين شامل لكامل النظام.	التحسين هندسي لتحقيق هدف واحد.
مجدد للموارد	مستهلك للموارد
يستخدم موارد محلية	يستخدم موارد عالمية

هناك بالطبع استثناءات من الجدول أعلاه ولكن تظل السمات العامة صحيحة في كثير من الحالات وغالباً ما تظهر فروقات جلية كلما تقدمت الأنظمة البشرية. لا يوجد بطالة في الأنظمة البيولوجية فهناك ملايين المساهمين في بناء النظام وتمنحهم الطبيعة فرصاً -أي أشبه ما يكون بريادة الأعمال- للتطور من أنواع إلى مجموعات واسعة من البيئات الإيكولوجية. أما في الأنظمة البشرية فإن السيطرة غالباً تكون لشركات كبيرة متعددة الجنسيات والقوة في أيدي فرادى قلة والبطالة أمر لا بد منه والإبداع في ريادة الأعمال محدود.

محاكاة النظم البيئية:

قام عدد من المنظمات بتأسيس شبكة صناعية تحاكي النظم الطبيعية ونجحت في زيادة عدد المنتجات التي تستهلك المدخلات نفسها مرة أخرى. من أوائل الأمثلة على ذلك هو قيام مجمع كالوندبورج الصناعي في الدنمارك -الذي يتطلب تشغيله وجود محطة توليد كهربائية قريبة والقيام بأعمال كيميائية وغيرها من العمليات- باستبدال ذلك ببرامج ومشاريع كل عناصرها الأساسية متوافقة مع النظم الطبيعية.

المهندس المدني جورج شان من أوائل من حاول إدخال نظم بيئية في تطوير مصنع للخمور من الذرة الرفيعة في مدينة تسوميب بناميبيا ووعد بإنتاج «شراب كحولي جيد يحقق مبيعات أكثر ويوجد فرص عمل أكبر ولا يلوث البيئة»[٤٨] . تستهلك مصانع الخمور التقليدية كميات كبيرة من المياه والحبوب ولا يبقى من كل ذلك سوى ندر يسير في المنتج النهائي. وتحتوي مياه الصرف القلوية الناتجة من مصنع الخمور على مستويات منخفضة من التلوث البيولوجي لكنها تمر بمراحل معالجة كيميائية باهظة الثمن قبل التخلص منها، أما الحبوب المستهلكة فتقدم بوصفها طعاماً للأبقار. الإجراء الأخير غير سليم؛ لأن الحبوب غنية بالألياف وعند تقديمها بوصفها طعاماً فإن الأبقار تنتج الميثان بكميات أكبر، والميثان كما هو معروف أحد غازات الاحتباس الحراري الضارة. نظر شان إلى المشكلتين (مياه الصرف الصحي والحبوب المستهلكة) على أنهما فرصتان يمكن التعامل معهما ضمن نظام يستخدم المدخلات نفسها لتوفير مخرجات ذات قيمة مضافة.

اقترح شان حلاً يعتمد على استخدام مياه الصرف لزراعة طحالب السبيرولينا، وهي تحتوي على نسبة عالية من البروتينات ويستخرج منها علاجاً لسوء التغذية. بعد هذه المرحلة تستخدم المياه في تربية الأسماك لإنتاج المزيد من مصادر البروتين. من خلال مسطحات المياه الواسعة ذات التنوع في الحياة المائية، وما يصاحب ذلك من عمليات تبخر الماء في الجو وتسربه إلى باطن الأرض؛ تكون دورة المياه قد اكتملت ضمن دائرة مغلقة وتوفر مصدراً إضافياً لتغذية المياه الجوفية. أما الحبوب المستهلكة فاستخدمت بوصفها أرضية لزراعة الفطر إذ يمكن إنتاج طن من الفطريات باستخدام أربعة أطنان من الحبوب المستهلكة[٤٩] وبعد حصاد الفطر، تكون الطبقة السفلية المستخدمة في زراعته غنية بأفطورة الفطر وتقدم إلى الحيوانات أو تستخدم سماداً لديدان الأرض. وبدورها تقدم ديدان الأرض طعاماً إلى الدجاج الذي تنقل مخلفاته إلى خزانات هضم لا هوائية تنتج غازاً يستخدَم وقوداً لتشغيل مصنع الخمور ويوزع الباقي على السكان المحليين لتقليل اعتمادهم على حرق الخشب.

المحصلة النهائية هي نظام ينتج ١٢ منتجاً بدلاً من واحد فقط، وسبعة أضعاف الغذاء والوقود والسماد، وأربعة أضعاف عدد فرص العمل مقارنة بالنظم التقليدية ونسبة لا تذكر من النفايات قونتر باولي مؤسس مبادرة صفري الانبعاث للأبحاث (ZERI) وشديد الاهتمام بصناعات تحاكي النظم البيئية؛ لخص فوائد النظام كالتالي:

حلول رائعة انطلقت من إعادة تفسير الطبيعة ووظائف الغذاء والطاقة ومكنتنا من تحقيق كفاءة أكبر في استخدام الموارد، وبناء صناعات منافسة، وتبني أفكار جديدة تستحدث فرص عمل وتسفر عن قيمة مضافة. هكذا هي النظم البيئية تتطور إلى نظم أكثر كفاءة من ذي قبل، وتبذل طاقة أقل من ذي قبل على أنواع أكثر من ذي قبل [٥١]

حالة دراسية

مشروع من كرتون إلى كافيار

مشروع من كرتون إلى كافيار (ويعرف أيضاً باسم «مشروع قادر» هو خير مثال لكيفية تحويل الأنظمة الخطية المنتجة للنفايات إلى أنظمة تدوير حلقية مغلقة خالية من النفايات بل أكثر إنتاجية. تخيل فكرة المشروع غراهام وايلز من شبكة الأعمال الخضراء (GBN) بكركليس وكلدردل بشمال إنجلترا، وبدأ المشروع محاولةً لتشجيع الأشخاص المعاقين على المشاركة ضمن مبادرة لتدوير النفايات. تم جمع كراتين تالفة من محلات تجارية ومطاعم وتقطيعها إلى شرائح صغيرة ثم بيعها على مراكز الفروسية لاستخدامها فرشاً لنوم الأحصنة. كانت الخطوة التالية هي تحويل الفرش الكرتونية المستخدمة إلى سماد تتغذى عليه الديدان عن طريق ما يعرف بمزرعة الديدان، ومن ثم بيع الفائض من الديدان إلى محلات بيع مستلزمات وطعم السمك. انسحب بائع طعم السمك في اللحظات الأخيرة، لكن غراهام وايلز ليس بالشخص الذي يتراجع بسهولة، لقد قرر التخلص من ذلك الوسيط وعمل بنفسه مزرعة خاصة بتربية الأسماك.

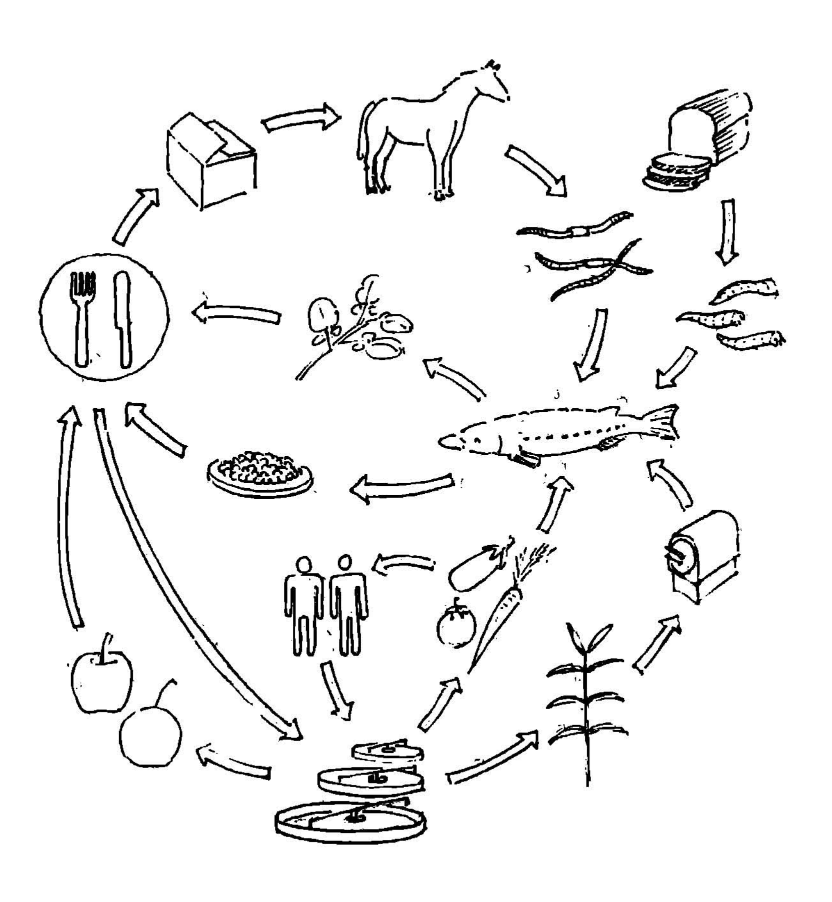
أسس وايلز مزرعة خاصة بتربية أسماك الحفش السيبيري (يؤكل لحمها ويستخرج منها أفخر أنواع الكافيار) واستعان في ذلك بعدد من التائبين من تعاطي الهيروين بعد تأهيلهم علاجياً. لاحظ وايلز أن عدداً من الصغار يرتادون المزرعة يومياً ويتناولون وجبات سريعة غير صحية فقرر إشراكهم في زرع الخضروات وتعليمهم عادات أكل صحية. استخدم وايلز مخلفات الخضروات غذاءً للديان (التي استخدمت غذاءً للأسماك) وقلَّل بذلك الاعتماد على الطعام التجاري للأسماك الذي غالباً يكون من مسحوق السمك. بدا واضحاً أن معدل نمو الأسماك تباطأ خلال الشتاء بسبب برودة الماء. خلال تلك المرحلة كانت شركة مياه يوركشاير تُشغّل أعمال صرف صحي بموقع مجاور وقد وافقت على منح المشروع ١٠ هيكتارات إضافية من أرض صناعية تملكها، وكذلك وافقت على تزويد المشروع بأقراص تعمل على زيادة معدل الخصوبة في مياه الصرف الصحي المعالج. وقام فريق العمل بزراعة شجر الصفصاف قصير العمر واستخدامه حطباً لبراجل الكتلة الحيوية.

استفاد أحد المشرفين على المشروع من خبرته السابقة في تربية الأسماك في البلدان النامية وأعاد تصميم نظام الترشيح المسجل الملكية باستخدام خزان للمياه المستصلحة. ظلت المياه الناتجة من نظام الترشيح الجديد تحتوي على نسبة من النترات والفوسفات ثم مررت في خزانات طولية مزروعة بالجرجير الذي بطبيعته يمتص معظم النترات وهو منتج زراعي يحصد مرات عدة، وبذلك يبقى الماء نقياً قبل إعادة ضخه إلى خزانات تربية الأسماك. أما الطين الناتج من عمليات الترشيح الجديدة فيتم تفريغه في أحواض لتغذية دود السماد وبعض منه يوضع في جرادل مياه لجذب البعوض من أجل توفير مؤونة من اليرقات لغذاء صغار الأسماك.

توسع إنتاج الغذاء فتم زراعة مساحة واسعة من الأرض المتاحة بأشجار الفاكهة، وزراعة البرسيم الذي وفر غطاء للأرضية وثَبّتَ النيتروجين في التربة، ووفر كذلك حبوباً للقاح تستفيد منها مستعمرة مزدهرة من النحل في ٢١ خلية نحل. تحول موقع المشروع من منطقة صناعية متهالكة إلى جنة ذات تنوع بيولوجي. نجح المشروع بتميز في تسخير المدمنين على المخدرات في عمل حميد وبناء. في حين أن برامج الحكومة المحلية لإعادة التأهيل تصرف ١٠٠،٠٠٠ جنيه إسترليني عن كل مدمن في السنة الواحدة (بدون حساب تكاليف أخرى مثل الجريمة والشرطة) وتعاني من معدل فشل يصل إلى ٩٥٪ ، تمكن مشروع "قادر" من تحقيق معدل نجاح يصل إلى ٨٠٪. عند زيارة المشروع يمكن أن تفهم لماذا يبعث هدوء صوت الماء وممارسة تغذية السمك إحساساً بالمسؤولية؟ ولماذا يعمل المشروع بطريقة تصالحية وشاملة من خلال أنشطته التي تنتهي بنتائج ملموسة لها تأثير إيجابي في إعادة التأهيل؟ برهن إنتاج الكافيار إمكانية تحويل النفاية إلى منتج ذي قيمة عالية، وفي الوقت نفسه يجني فوائد اجتماعية واقتصادية وبيئية. يمكن بيع الكافيار مرة أخرى إلى المطاعم التي ساهمت بالكرتون حتى يكتمل إغلاق الحلقة الكيميائية.

وما زال المشروع يتطور، فقد تم تربية أنواع جديدة من الأسماك وخصوصاً سمك البلطي، والشبوط؛ لتلبية الطلب المتوقع من الجاليات الجنوب شرق آسيوية والبولندية. مزرعة يرقات تستخدم نوعاً آخر من النفايات وهو الخبز المتعفن (لا ينتج عنه أي روائح كتلك المنتجات التي تعتمد على اللحوم) وتستخدم يرقاتها في زيادة غذاء الأسماك وعدم الحاجة لإحضار أي تموين غذائي للأسماك. سيتم أيضاً بناء منافخ لتدخين السمك لتقديم منتجات راقية وسيعمل واليز هذه المرة مع أفراد الخدمة السابقين. يعود الجنود غالباً يعانون من إعاقات شديدة واضطرابات ما بعد الصدمة ويجدون من الصعوبة التأقلم مع الحياة المدنية وقد يؤدي ذلك غالباً إلى الوحدة والجريمة.

إذا عدنا إلى القائمة أعلاه والتي تقارن بين الأنظمة الحيوية والأنظمة البشرية نستطيع أن نرى أن مشروع "قادر" يقع يمين الجدول. لقد تطور إلى نظام معقد من الأنشطة المعتمدة على بعضها وهناك إحساس أنه كلما تطور المشروع زادت احتمالات أكثر بطريقة مشابهة تماماً كما في فكرة التسلسل الحيوي. لقد حول المشروع أنواعاً من النفايات إلى منتجات قيمة وأعاد توظيف نفايات كان يرثى لحالها وقلل الاعتماد على الموارد البشرية ذات المهارات العالية واستبدلها بالموارد البشرية ذات الرغبات الحية في المشاركة.



٧٢. شكل يوضح تنوع عناصر مشروع "من كرتون إلى كافيار" ونموها.

كيف نفكر بأسلوب النظم الحيوية؟ وكيف ترتبط العمارة بها؟

لا شك أن بعض القراء ستراوده العبارة التالية: «قف برهة، أنا معماري ولست مزارعاً، هذا مجرد هراء.» حسناً كما تشاء، بإمكانك الإنتقال إلى الفصل القادم ولكن سيفوتك عرض لبعض الاختراعات المهمة في مجال التخطيط العمراني وسرد لطرق تمكن من اندماج المباني في محيطها الثري متجدد التألق. إذن دعونا نستعرض بعض البراهين لنوضح بالتفصيل كيف نفكر بأسلوب النظم الحيوية.

أغلب الأمثلة المتميزة في محاكاة النظم الحيوية هو في مجال إنتاج الغذاء أكثر منها في مجال إنتاج مواد البناء، ويأتي هذا لأسباب سيتم سردها لاحقاً في نهاية الفصل الأخير من هذا الكتاب. إن تصنيع مواد البناء غالباً يحتاج إلى روابط ذات طاقة عالية وهو ما يصعب تكاملها مع النظم الحيوية. لو كانت المباني والمدن ومنتجات البناء مصنوعة من أشياء مثل اللدائن الطبيعية ذات الروابط منخفضة الطاقة؛ كان يمكن حينها القول بمناسبة ذلك وأنه سنرى مواد بناء تقع ضمن دورة النظم البيئية. لكن الواقع أن هذا التحول ما زال قيد الدراسة والتجريب.

النماذج المعتمدة على النظم البيئية تتطلب تداخلات معقدة بين عمليات مختلفة، وتحسين تلك النماذج يتطلب تدخلاً في التصميم. ستظهر أنواع جديدة من المباني من خلال الانتقال إلى مجتمع صفر النفايات والفرصة ما زالت مواتية لتحقيق ذلك من خلال أعمال معمارية عظيمة.

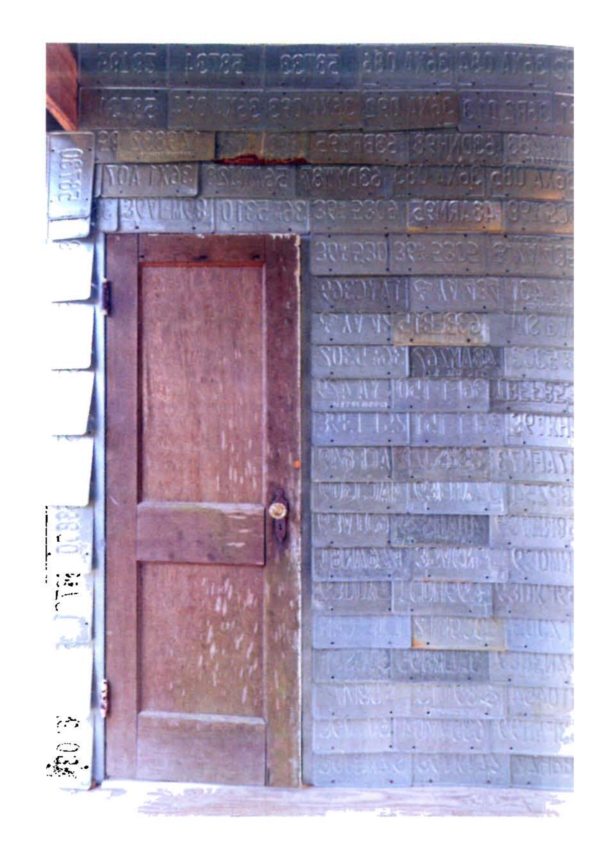
اتجهت منشآت البناء العادية إلى عدم الاكتراث لرأس مال الطبيعة والحط من قدرها، في حين أن التفكير بأسلوب النظم الحيوية هو فرصة لعمل العكس. أوضحت كارولين ستيل في كتابها "المدينة الجائعة" كيف يمكن للغذاء أن يثري وينعش الفراغات العامة في المدن والبلدات [٥٢]. وبوصفنا مجتمعاً متحضراً انفصلنا شيئاً فشيئاً عن الغذاء (من ناحية إنتاجه وكذلك التخلص منه). إن إيجاد أنظمة تربط بين زراعة الغذاء وإنتاج مواد البناء والتعامل بإبداع مع النفايات؛ سيعيد الارتباط مع الغذاء وسيوفر أماكن عيش تتميز بالحيوية والتألق المتجدد.

تصميم بيئة بناء مستدام لا ينحصر فقط في مجال العمارة، إنه أيضاً يشمل التخطيط الإستراتيجي والبنية التحتية الحاضنة للغذاء، والنقل، والطاقة، وكذلك الصحة، والرفاهية. أحد الأبطال الذين تبنوا تلك الفكرة هو بوران ديسي من منظمة مناطق بيولوجية، والذي أوضح في كتابه "مجتمعات كوكب واحد" أن التفكير بأسلوب النظم البيئية يساعد في التحول من نموذج اقتصاد يهدر الموارد والطاقة ويهدر استثمار رأس المال؛ إلى اقتصاد تدور عملياته في نطاق حلقة مغلقة فتكون نفايات عملية "ما" مدخلات لعملية أخرى [٥٢] أثار اقتصاديون من أمثال إي إف شوماشير وريتشارد دوثويت جدالاً مقنعاً عن فوائد تطوير الاقتصاد المحلي والتأثير الإيجابي المضاعف الناتج عن صرف الأموال على الاقتصاد المحلي. تتوقع هيئة التطوير المستدام في المملكة المتحدة أن كل ١٠ جنيهات إسترلينية يتم إنفاقها على إنتاج غذاء عضوي محلي يتولد مقابلها ما قيمته ٢٥ جنيهاً إسترلينياً يصب في صالح الاقتصاد المحلي، بينما نجد العشر جنيهات نفسها عندما تنفق على سوق تجاري يتولد عنها ما قيمته ١٤ جنيهاً استرلينياً فقط لا غير.

قد يتساءل القارئ الناقد عما إذا كانت النماذج الجديدة التي تم عرضها في هذا الفصل هي حقاً نماذج تحاكي الطبيعة أو أنها مجرد نماذج تستفيد من الطبيعة. كثيراً من العناصر الفردية للنظم التي أشير إليها سابقاً ينطبق عليها التعبير الأخير من ناحية أنها توظف الطبيعة بشكل مباشر لفائدة الإنسان. ولكن العناصر في مجموعها وعملها معاً بطريقة تساند بعضها بعضاً هي بالتأكيد نموذج يحاكي الطبيعة وجزء مهم من النهج التصالحي مع الطبيعة.

الاستفادة من المتوفر المهمل:

من خصائص الكائنات البيولوجية أن لديها المقدرة في الاستفادة مما هو متوفر ومهمل. لا شك في أن الطبيعة هي أفضل من يستفيد من الفرص، فكل مورد غير مستغل في النظم البيئية سيتم تسخيره والاستفادة منه من قبل أحد الكائنات، أو ربما وعلى مدى طويل، يحور الكائن نفسه ويتأقلم للاستفادة من تلك الفرصة المتاحة. وللتوضيح سنضرب مثالاً مشابهاً لمعماريين استفادوا من مواد بناء ونفايات متوفرة ومهملة في الموقع. قام المعماريون المشرفون وطلبة برنامج "الأستديو الريفي» في مقاطعة هيل بولاية الآباما ببناء مبان غير عادية باستخدام النفايات ببراعة كبيرة وتحويلها لعمران يلائم مجتمعات ألاباما الفقيرة وباستخدام مواد مثل: بلاطات



السجاد ولوحات أرقام السيارات (الشكل ٧٣) ولوحات حماية الشاحنات من الرياح وتشكيلة أخرى من مواد متوفرة محلياً. نادراً ما تقوم الكائنات البيولوجية بإحضار مواد بناء من مسافات بعيدة عن الموقع، بل إنها تتعامل ببراعة في الموقع وتبني بما هو متاح.

هناك بالطبع حدود لفكرة العمارة باستخدام الموارد المحلية. المباني الحديثة منخفضة الطاقة على سبيل المثال لابد

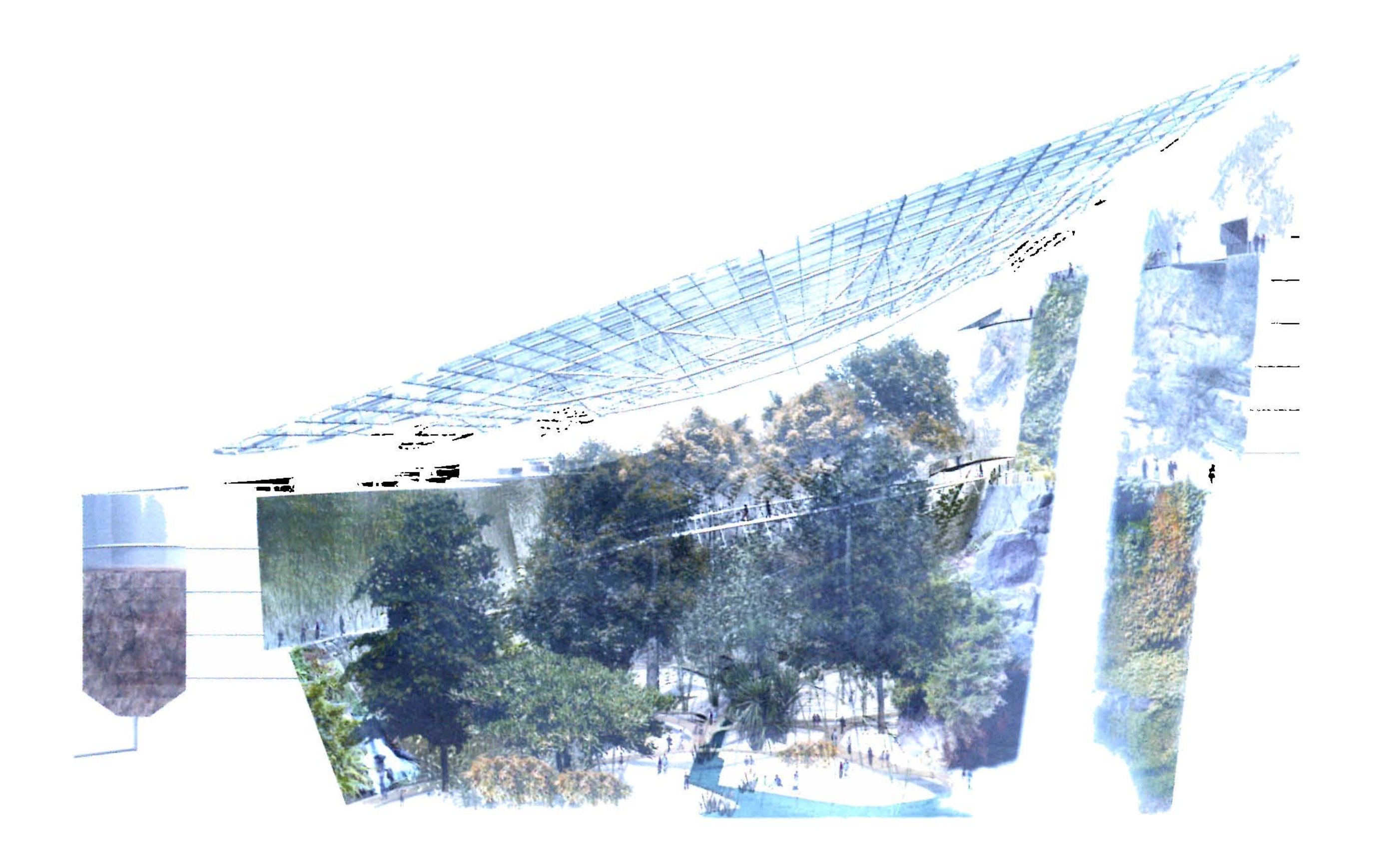
٧٣. خلال مراحل التحول، تطورت الكائنات الحية للاستفادة من كل ما هو متاح حولها، وبإمكاننا تقليد ذلك وتحقيق فوائد جمة من خلال الإبداع في التعامل مع الموارد غير المستغلة. قام المعماريون المشرفون على برنامج "الاستديو الريفي" ببناء أفضل الأمثلة لهذا النهج باستخدام بلاطات السجاد ولوحات حماية الشاحنات من الرياح، وكما يتضح في الشكل استخدموا لوحات أرقام تسجيل السيارات لتكسية الجدران.

أن تكون بعض عناصرها عالية الأداء ومصنعة بعناية وتحت ظروف محكمة. من الأفضل إذن حصر الاستفادة في المواد المحلية ثقيلة الوزن كبيرة الحجم والتي تشكل عبئاً وتستهلك طاقة عالية عند نقلها للموقع وكذلك حصر الاستفادة من النفايات المحلية التي يمكن تحويلها بطريقة أو بأخرى.

فكرة الاستفادة مما هو متوفر ومهمل محلياً كانت نبراساً اهتدى به جريمشاو في تصميم مشروع الغابة البيئية المطيرة (الشكل ٧٤). الموقع المقترح لبناء المشروع هو مكب للنفايات وسيظل يستخدم كذلك لسنوات قليلة قادمة. ركز الوصف المختصر للمشروع على أن يكون مشابهاً لمشروع حدائق عدن وجاذباً للزوار، إلا أنه لم يتعرض على الإطلاق لموضوع التعامل مع نفايات الموقع، لذلك قرر فريق التصميم العمل بصورة أو بأخرى على دورة الموارد. وكان مشروع من كرتون إلى كافيار ومشروع سقائف الأناناس في حدائق هيليقان بكورنيل مصدري إلهام لفريق التصميم. بنيت سقائف الأناناس في العهد الفيكتوري بوصفها أسلوباً لزراعة الأناناس في الجو البريطاني البارد الرطب حيث وزعت أحواض زراعية مائلة في اتجاه الجنوب الغربي تحت سقف زجاجي وعبئت الفراغات بين الجدران بروث مخلوط بالتبن. الحرارة الناتجة من عمليات التحلل كانت كافية لرفع درجة الحرارة حول الأناناس إلى ٢٥ درجة سيلسيس وكانت كافية أيضاً للزراعة خلال فصل الشتاء. تخيل المصمم بناء وتشغيل كامل مشروع الغابة البيئية المطيرة باستخدام موارد سبق تدويرها ومعالجتها.

المشروع ببساطة نسخة مكبرة من سقائف الأناناس إذ يتكون من سقف زجاجي يميل في اتجاه الجنوب ويستند إلى حوائط ضخمة من سلال مصنوعة من أسلاك حديدية ومملوءة بأنقاض البناء. في داخل الجدار مرجل بيولوجي ضخم يمكنه معالجة النفايات القابلة للتحلل والمجمعة من مدن قريبة من الموقع. المبنى ذاتي التسخين معظم أيام السنة بفضل استقبال الطاقة الشمسية بالطرق السلبية والكتلة الحرارية الكبيرة للجدران السميكة. خلال الأوقات الباردة من العام، يتم تشغيل مضخات حرارية تسمح بنقل الهواء الدافئ الناتج من عمليات التحلل في المرجل البيولوجي لتدفئة الحيز النباتي في المشروع.

منذ المراحل المبكرة للتصميم، روعي أن تركز الرسالة التعليمية للمشروع على النظم البيئية وأن تماهي نباتات وحيوانات المشروع تلك التي تعيش في غابات الأمازون المطرة بكل أمانة وإخلاص ما أمكن إلى ذلك سبيلاً. ومع تطور التصميم تم اقتراح



المزيد من الطرق المبتكرة والتوسع في المحافظة على الموارد وإع
استعمالها في دائرة حلقية مغلقة وتطبيق ذلك على كامل الموقع. و
واضحاً أنه سيكون هناك علاقة أكيدة بين منطقة العرض في المش
وطريقة تشغيله المشابهة للنظام البيئي. لم يتم تنفيذ المشروع، ل
التحليلات الاقتصادية أشارت إلى أن العائد من ضرائب ر
النفايات وقيمة التسخين والسماد والكهرباء الناتجين من النفا
الخضراء الغازية سيحقق للمشروع دخلاً سنوياً مقداره ٩ ملا
جنيه إسترليني. باستخدام ما كان متوفراً ومهملاً في الموقع، تم
المشروع من اقتراح حل لمشكلة كبيرة بحجم موقع مكب النفايات
تحويل المشكلة إلى فرصة عظيمة ذات فوائد متعددة.

٧٤. مشروع الغابة البيئية المطيرة من تصميم جريمشا – مشروع كان سيبنى ويشغل بكامله تقريباً باستخدام النفايات.
٧٥. في الكأس، مطعم تم تشييده داخل بيت زجاجي من تصميم جيرت جان هاقمين.

حالة دراسية:

مشروع على شكل شريط موبيوس:

اعتدنا في القرن العشرين تقسيم الأنشطة إلى عمليات ضخمة أحادية الوظيفة. لكن مكتب "استكشاف" صمم مشروع موبيوس وحاول من خلاله التوفيق بين تشكيلة من عمليات الإنتاج بطريقة تسمح بالربط بين المدخلات والمخرجات وفقاً لنموذج التدوير ذي الحلقة المغلقة. ودمج المشروع بين العناصر التالية:

بيت زجاجي لإنتاج النبات، بما في ذلك حق المجتمع في استخدامه لزراعة محاصيل لا يمكن زراعتها في الهواء الطلق.
مطعم يقدم وجبات موسمية من نباتات تنمو محلياً داخل البيت الزجاجي.
مزرعة لتربية مجموعة من أسماك صالحة للأكل.
سوق لبيع الغذاء.
نظام تحليل عضوي أو تسميد يعتمد على الديدان.
زراعة الفطر باستخدام مخلفات قشور القهوة.
خزانات هضم غير هوائي لإنتاج حيوي مزدوج للطاقة والحرارة.
نظام "آلة التعايش" [٥٤] لمعالجة المياه، وهو نظام بدأه جون تود.
تشكيل حجر جير صناعي من مخلفات ثاني أكسيد الكربون باستخدام تقنية تسارع الكربونات.

هناك إذن ثلاث دوائر: دائرة الإنتاج الغذائي، ودائرة توليد الطاقة، ودائرة معالجة المياه. إن كل عنصر من العناصر الموضحة أعلاه تعامل معه كثير من قبل. في أمستردام مطعم ناجح جداً يسمى "في الكأس" (الشكل ٧٥) أسسه جيرت جان هاقمين في بيت زجاجي كان من المقرر هدمه. وما زال المطعم مستمراً في خدمة ٥٠،٠٠٠ زائر سنوياً منذ افتتاحه في عام ٢٠٠١ ويقدم غذاء طازجاً لا يوازيه غذاء من إنتاج البيوت الزجاجية. مشروع "قادر" وكذلك مشروع "الغابة البيئية المطيرة" استخدما نظاماً لإنتاج الغذاء من تدفق النفايات، برهن جون تود كيف أن المياه الرمادية والمياه القذرة في المناطق العمرانية يمكن معالجتها باستخدام النبات والكائنات الحية الدقيقة. وكذلك زراعة الفطر باستخدام مخلفات القهوة، وخزانات الهضم غير الهوائية وتقنية تسارع الكربونات، كل ذلك سبق أن تم تطويره وتنفيذه في مشاريع بمقاييس متفاوتة.



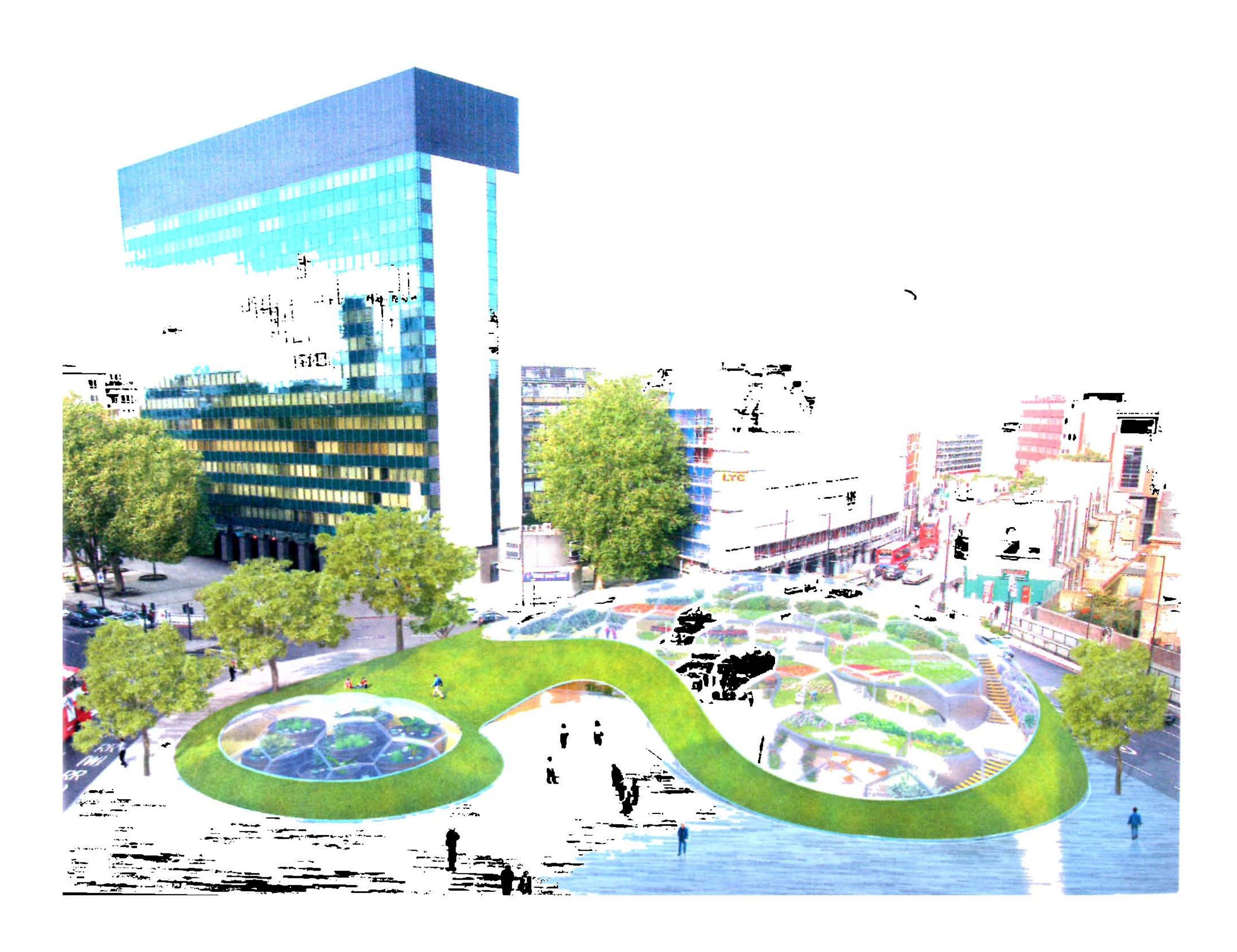
الجديد في مشروع موبيوس (الشكل ٧٦) أنه جمع كل هذه العمليات في بوتقة واحدة وأحدث تكاملاً وتعاضداً فيما بينها. يستطيع المبنى أن يتعامل مع النفايات العضوية الناتجة من المناطق العمرانية القريبة وتحليلها حيوياً باستخدام طريقة الهضم غير الهوائي. يستخدم غاز الميثان الناتج من تلك الطريقة في توليد الحرارة والكهرباء اللازم لتشغيل البيت الزجاجي في حين أنه يمكن صيد بعض الغازات المتطايرة من المداخن ومعالجتها عن طريق التسارع الكربوني وتحويلها إلى مواد بناء. يستفيد المطعم من توفر وقرب منتجات البيت الزجاجي من فواكه، وخضروات، وسمك، كما أن المطعم يمكن أن يعمل بمستوى قريب من مستوى صفر النفايات إذ إن مخلفات الطعام تقدم للأسماك أو تعالج عن طريق التحليل الحيوي. المخلفات الصلبة في مياه الصرف الصحي يمكن تحويلها إلى خزانات الهضم غير الهوائي في حين يمكن معالجة باقي المياه وإعادة

استعمالها. السماد الناتج من طرق معالجة النفايات يمكن استخدام بعض منه في البيت الزجاجي، أما الفائض الأكبر فيمكن استخدامه في إصلاح الأراضي غير الخصبة بمحيط المدينة.

كان من الممكن أن يؤدي المشروع دوراً مهماً في توليد إحساس بالانتماء للمجتمع وربط الناس بالغذاء، وفي الوقت نفسه معالجة العديد من متطلبات البنية التحتية للحياة المستدامة في المناطق الحضرية. فكرة إعادة ترابط الأنشطة المنعزلة عن بعضها في وقتنا الحالي تحقق لنا إمكانية الوصول إلى ما تقوم به النظم البيئية – تحويل النفايات إلى مواد غذائية. على الرغم من كل تلك الفوائد، إلا أنه علينا النظر بصورة أكثر واقعية، فبعض العناصر التي تم سردها أعلاه ستظل ذات جدوى اقتصادية محدودة وستواجه بعض القيود الوظيفية [٥٦]. علينا في الوقت نفسه أن نكون أكثر وعياً بالعوامل التي غالباً لا تخضع للحسابات الاقتصادية بوصفها عوامل "خارجية" مثل: التلوث والنقص في الغذاء والتدهور في العمران. ويتطلب تصميم الحل "الصحيح" لموقع "ما" أن يسبقه تحليل أعمق من الدراسات الاقتصادية التقليدية.

ميشيل بولان الكاتب في شؤون الغذاء وصاحب كتاب «معضلة القوارض» ذكر أن أسلوب تربية الماشية في أحواش تولد عنه مشاكل في الصحة وتراكم للنفايات، وهو الأمر الذي لم يحدث من قبل حين كانت الماشية ترعى في الأعشاب. وأضاف "أن ذلك مثل من يحول حلاً أنيقاً إلى مشكلتين مستعصيتين" [٥٧]. بينما نمضي الطريق في معالجة تحديات التحضر المستدام مثل الغذاء والطاقة والماء والنفايات؛ فإن الفرصة متاحة من خلال مشاريع مثل مشروع موبيوس لإصلاح الخلل، وتحويل كامل عملية التمثيل الغذائي للمدن، وإبدال المشاكل والنظم الخطية بحلول حلقية مغلقة.

نتائج التفكير في النفايات بأسلوب النظم البيئية الحيوية:



سواء أكانت النفايات مصدراً للغذاء أم مورداً غير مستغل؛ فإن الاستهلاك الأقل للموارد برز بوصفه نموذجاً اقتصادياً وثروة يمكن تحقيقها.

حتى من نظرة خاطفة على الواقع المعاصر لأنظمتنا الصناعية والزراعية والعمرانية يتضح أن استهلاك الموارد في اقتصادنا القائم يمثل فرصة هائلة للمستقبل. على سبيل المثال: المنتج النهائي لمصنع الخمور لا يمثل سوى نسبة بسيطة جداً من الموارد التي استخدمت في صناعته والباقي يرمى للنفايات، وهناك أمثلة أكثر وضوحاً قدمها غونتر باولي مثل إنتاج القهوة الذي "لايتجاوز منتجه النهائي معدل ٠,٢ ٪ من كتلته الحيوية بينما يترك الباقي للتعفن» [٥٨] ولو تأملنا ذلك في حالات أخرى لوجدنا أن الموارد غير المستفاد منها تمثل عبئاً مكلفاً للتخلص منها، وستكون أكثر كلفة في المستقبل، حينها نستشعر أهمية التفكير بأسلوب النظم البيئية وما يحمله من إمكانيات لحل المشكلة.

تعمل النظم البيئية كأنها أحد رجال تنمية الأعمال فهي تساهم في ازدهار بل مكافأة البيئة (الكائنات التي تتحول لتشغر محيطاً بيئياً جديداً). الفرصة نفسها متاحة في نسخة النظم البيئية من صنع الإنسان: مكافأة هؤلاء الذين حولوا النفايات إلى قيمة وفرص للعمل. يبدو بعض الأمثلة نادراً مثل مشروع «من كرتون إلى كافيار» ولكن لا يقلل ذلك من أهميته. يعتمد الاقتصاد التقليدي على تسييل رأس مال الطبيعة إلى رأس مال نقدي ومادي وغالباً يتم ذلك على حساب رأس المال الاجتماعي.

قد يكون ذلك معقولاً في بداية الثورة الصناعية حينما كان هناك وفرة في المواد وقلة في السكان، ولكن في القرن الحادي والعشرين العكس هو الصحيح. يزداد رأس المال الطبيعي أهمية وتزداد الحاجة لتوفير سبل عيش للأعداد المتزايدة من السكان. كثير من الأمثلة التي نهجت منهج التفكير بأسلوب النظم البيئية عكست تلك القيم، فتصالحت مع بيئتها القريبة وساندت في بناء محلي مرن من خلال إعادة مشاركة مجموعات بشرية مهمشة.

على المصممين مستقبلاً العمل مع الصناع وعلماء الأحياء لوضع نماذج أشكال صناعية تكافلية بحيث يمكن تجميعها لأغراض متعددة الاستعمالات واضعين أمامهم الفوائد التي تنشأ من دمج المناطق السكنية مع مناطق العمل. بدلاً من توزيع المجتمعات حول صناعات أحادية الوظيفة وما يصاحب ذلك من مخاطر؛ فإن النماذج التي تنتهج التفكير بأسلوب النظم البيئية ستقترح صناعات متنوعة الوظائف [٥٩]

٧٦. مشروع موبيوس* من تصميم مكتب "استكشاف" مع يانيف بير وفليبو بريفيتالي. المشروع الذي حاول أن يوفق بين عدد من الأنشطة ضمن دوائر يدعم بعضها بعضاً.

---

* كلمة "شريط موبيوس غير النهائي» تعني سطحاً واحداً مطوياً على شكل أنشوطة متصلة، بها نصف عقدة تشبه في الشكل الرقم ٨ حيث تتحول الأرضيات إلى أسقف والعكس صحيح، ويتحول السطح الداخلي إلى خارجي والعكس صحيح. وقد سُمّي شريط موبيوس باسم أوغست فيردناد موبيوس، عالم الرياضيات الألماني الذي اكتشفه في أواسط القرن التاسع عشر الميلادي.



كيف ندير الماء؟

تحول الماء إلى موضوع مثير للنزاع على المستويين البيئي والسياسي. ويتوقع علماء المناخ أن العالم النامي الواقع ضمن خطوط العرض الاستوائية سيعاني عجزاً شديداً في الإنتاج الزراعي؛ نتيجة الزيادة في درجات الحرارة والنقص في كمية الأمطار. أما بقية أنحاء العالم وبصورة عامة المناطق المعتدلة فستشهد غالباً زيادة في كمية هطول الأمطار وشدته، وإن لم يحسن إدارة المياه فسيزداد خطر الفيضانات.

تمكنا حتى الآن من إطعام أعداد متنامية من سكان الأرض في مناطق واسعة بفضل ما تحقق من إنجازات في مجال تحسين محصول أصناف من البذور أو ما يسمى "الثورة الخضراء" بريادة المهندس الزراعي نورمان بورلوج. لقد كان مذهلاً ما حققه ذلك التطور التقني في زيادة المحاصيل الزراعية، لكن يبدوأنها لن تستطيع الصمود في المستقبل؛ لأنها تستهلك كميات كبيرة من الري والسماد. وإن معظم إنتاج الأسمدة الاصطناعية يستهلك وقوداً أحفورياً بكميات كبيرة، وفي حال صدقت نظريات ذروة النفط فإن أسعاره سترتفع بشكل كبير خلال العقود القادمة[٦٠] وتستخرج مياه الري غالباً من المياه الجوفية ولكنها استنزفت إلى درجة أنها تحولت إلى مياه مالحة بسبب إعادة تعبئتها بمياه البحر. وأثبت التاريخ الحديث أن هناك علاقة مباشرة بين النقص في المياه والنزاع المسلح. إن استقراء التوجهات المعاصرة للعشر سنوات القادمة فيما يخص التغير المناخي وإمدادات المياه والنمو السكاني، يثير احتمالات مقلقة.

٧٧. حقول ذات ري محوري. في أماكن كثيرة على سطح الأرض تستنزف المياه الجوفية بمعدلات عالية لدرجة إعادة حقن طبقات المياه الجوفية بمياه مالحة ويلحق ذلك آثاراً مدمرة على الزراعة التي يعتمد عليها الناس.

كل القضايا التي وصفت أعلاه تمثل تحديات مهمة للمصممين. والأخبار الجيدة تقول إن مشاكل كثيرة مشابهة قد حلت عن طريق كائنات حية لديها قدرة على التأقلم مع بيئات يكون الماء فيها قليلاً أو متوسطاً أو متوفراً بكثرة. أنواع أخرى تمكنت من تطوير طرق لصيد الماء من هواء الصحراء، وأنواع أخرى خزنت الماء لحين الحاجة إليها في مواسم الندرة والجفاف في مواقع لا يتجاوز معدل هطول الأمطار بها عن ١١ متراً في السنة. ويستعرض هذا الفصل بعضاً من تلك الأمثلة ويوضح كيف يمكن لمحاكاة الطبيعة أن تساهم في زيادة كفاءة استخدام المياه.

التقليل من فقد المياه

كل الكائنات التي تعيش في ظروف قاحلة لديها وسائل لتقليل فقد المياه. ومن ذلك: توظيف عناصر غير حية، مثل: توفير الظل، وحجز طبقة من الهواء لصيقة بجسم الكائن لتقليل معدل التبخر أو مزيج من الطريقتين معاً. وبعض الطيور التي تعيش في الصحاري لديها ريش أسود مما يبدو أمراً عجيباً، ولكن لأن الريش عبارة عن هياكل بروتينية (مكونة من كيراتين غير حي) ولأنه جسم غير شفاف فإنه يلقي ظلالاً على جلد الطائر ويمنع وصول معظم حرارة الشمس إليه ومن ثم يقلل من فقده للماء. وأنواع كثيرة من الصبار مغطاة بشعيرات بيضاء ناعمة تعمل على عكس أشعة الشمس وكذلك صيد الهواء الرطب القريب من النسيج الحي للصبار بحيث يستمر تبادل الغازات الضروري لإتمام عملية التركيب الضوئي بدون فقدان كبير للمياه. وتحتفظ شجرة المظلة الشائكة واسمها العلمي "Acacia totilis" بكميات كثيرة من أغصانها الميتة التي يبدو أنه ليس

لها وظيفة سوى توفير الظل للنسيج الحي من الشجرة وللتربة أسفل منها لتقليل معدل التبخر.

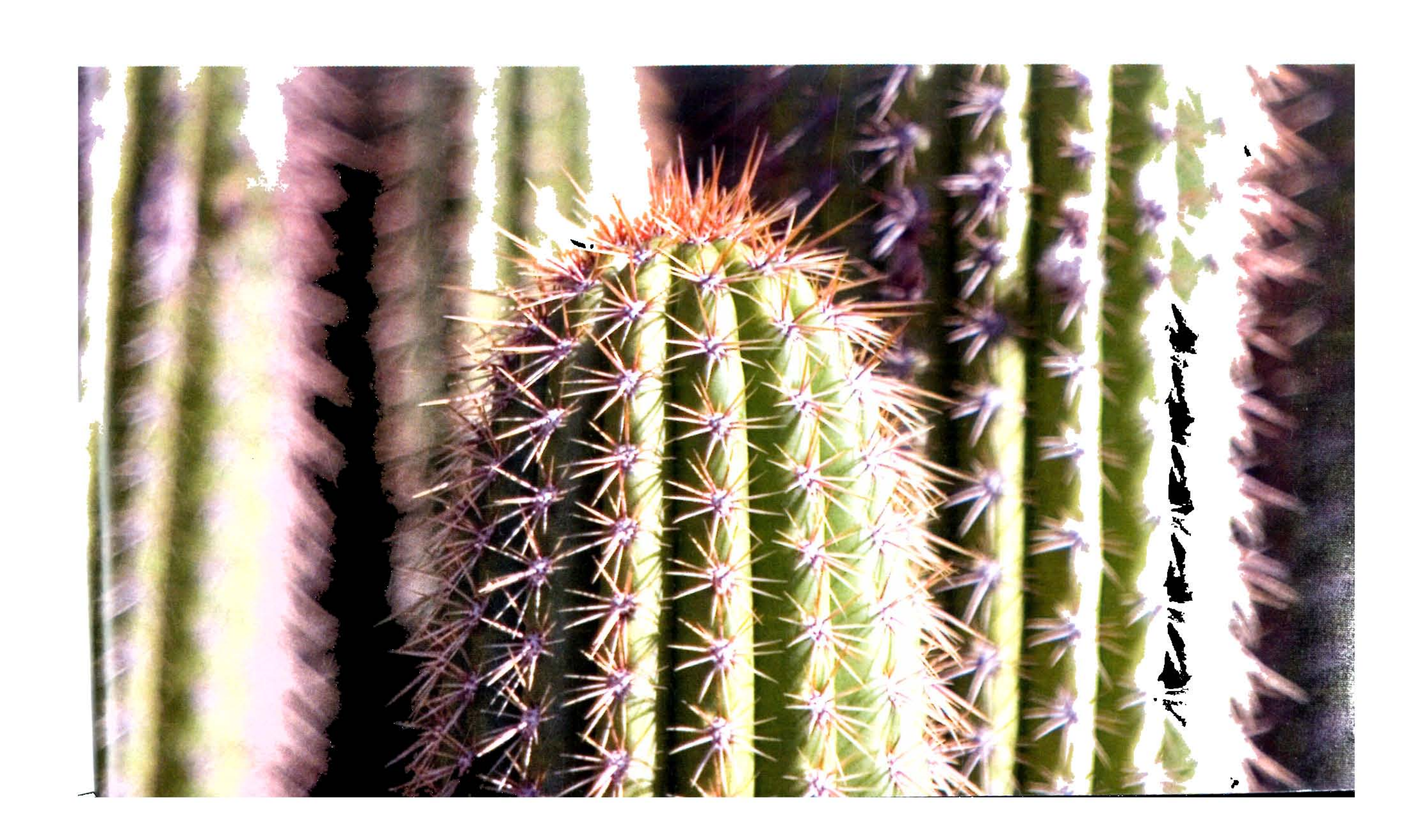
ويمكن استخدام استراتيجيات مماثلة وبشكل أوسع على مباني المناطق الحارة، ومن ذلك على سبيل المثال: تركيب هياكل غير شفافة أو عاكسة تمنح الظل وتقوم -أيضاً- بجمع المياه بوصفه وظيفة أخرى مزدوجة كما سنرى لاحقاً أدناه، وربما أيضاً توسيع دائرة الظل لتشمل محيط تلك المباني وهو ما يساعد في حجز طبقة هواء بارد عند المستوى الأرضي ويوفر ظروفاً مريحة للمستخدمين، وفي الوقت نفسه يقلل من معدل تبخر الماء من التربة.

خزن المياه

يتميز بعض البيئات بسقوط الأمطار على فترات متقطعة وأقصى ما يحدث في بعض الحالات هو سقوط كميات شحيحة من الأمطار لبضع ساعات تساوي معدلات هطولها في العام كله. ويقودنا هذا للإجابة عن سؤال وهو: لماذا يملك الصبار غالباً سيقان مضلعة تشبه آلة الأكورديون الموسيقية؟ (الشكل ٧٨).

تستطيع هذه السيقان المضلعة أن تمتص سريعاً أي كميات كبيرة من المياه دون أن يكون ذلك سبباً في زيادة نمو الصبار؛ لأنها ببساطة تزيد اتساعاً لا أقل ولا أكثر.

بعض النباتات تأقلم مع السقوط المتقطع للأمطار عن طريق خزن المياه في باطن الأرض باستخدام جذوره الكبيرة والمنتفخة. ربما يكون المثال الأكثر تطرفاً لهذا النوع من النباتات هو رجل الفيل وهو نوع من البطاطا ينتج درنات يصل وزن الواحدة منها إلى ٣٠٠ كيلوجرام. ماذا يعني هذا للمعماريين؟ خزانات المياه في المباني جميعها بدون استثناء تبنى بوصفها خزانات أرضية بأبعاد وأشكال جامدة وتكاليف عالية واستهلاك مسرف للكربون. وهناك فرصة لأوعية خزن قابلة للتوسع مصنوعة من نسيج خفيف الوزن يمكن دمجه في الحوائط أو في عناصر تنسيق المواقع. هذا سيسمح للمباني بصيد كميات أكبر من مياه الأمطار الساقطة خلال العواصف الرعدية النادرة التي تميز بعض المناطق الجافة. وتلائم هذه الإستراتيجية المناطق المعزولة التي تتطلب تكاليف باهظة لإيصال مياه الشبكة العمومية إليها. كذلك تقليل فرص حدوث فيضانات مفاجئة؛ نتيجة استخدام السطح لتصريف مياه الأمطار.





صيد المياه

من الصعوبة أن نجد مثالاً لمحاكاة الطبيعة أفضل من الخنفساء الناميبي صائد الضباب (الشكل ٧٩). حيث طور هذا المخلوق طريقة خاصة لتوفير حاجته من المياه النقية في الصحراء. إنه يعتلي الكثبان الرملية في الليل حتى يصل إلى قمتها ولأن جسمه مكسو بالسواد فإن ذلك يساعده على فقد الحرارة بالإشعاع نحو السماء الليلية فيبرد سطحه الخارجي بمعدل أسرع مما حوله. وحين يهب نسيم رطب قادم من جهة البحر، تتشكل قطرات الماء على ظهر الخنفساء. وقبل شروق الشمس يرفع الخنفساء ظهره قليلاً إلى الأعلى لتنساب قطرات الماء مباشرة إلى فمه فيشرب حتى يروى ثم يمضي إلى حال سبيله بقية يومه ذاك. ليس ذلك فحسب، إن طريقة الخنفساء في التأقلم تذهب إلى أبعد من ذلك، حيث يوجد على السطح الخارجي لظهر الخنفساء سلسلة من بروزات مجمعة للماء وبين تلك البروزات أسطح شمعية الملمس طاردة للماء. وتأثير البروزات واضح في تجميع قطرات الماء والإبقاء عليها حتى تأخذ شكلها الكروي الكامل، وهو مايعني أن فرصة كرة الماء في الحركة أكبر مما لو كانت مجرد غشاء رقيق من الماء على ظهر الخنفساء. لذلك حتى لو كانت هناك رطوبة قليلة في الهواء، فإن هذا المخلوق يظل قادراً على صيده بفعالية قصوى. إنها آية من آيات التأقلم مع البيئة ذات الموارد المحدودة، ومن ثم فهي ذات علاقة قوية بالتحديات التي ستواجهنا في العقود القليلة القادمة.

كانت هذه الحشرة العجيبة مصدر إلهام لعدد من المشاريع، ومن ذلك: مشروع بيت زجاجي لمياه البحر، ومشروع مسرح مائي في لاس بالماس، ومشروع غابة صحارى الذي سنعرج عليه في الفصل الأخير من الكتاب. كل هذه المشاريع استخدمت الطريقة نفسها ونهجت تقنية مماثلة في صيد المياه. ودرس عالم الأحياء أندرو باركر الخنفساء بالتفصيل وعمل منذ التحاقة بشركة كينيتيكيو على إنتاج نوع من البلاستيك يستخدم فكرة الأسطح المجمعة والأسطح الطاردة للماء لرفع مستوى التكثف.

٧٨. تسمح الأشكال المضلعة للصبار بالتوسع من أجل امتصاص الماء عند هطول المطر.

٧٩. الخنفساء الناميبي صائد الضباب – بطل محاكاة الطبيعة.





البيت الزجاجي لمياه البحر من اختراع وتصميم شارلي باتون (الشكل ٨٠ و ٨١). يستفيد البيت الزجاجي من تبخير مياه البحر في مقدمته من أجل تبريد وترطيب بيئته الداخلية المعدة لنمو المحاصيل في المناطق الجافة. وتستفيد النباتات داخل البيت من انخفاض درجات الحرارة وارتفاع الرطوبة وهو ما يؤدي إلى خفض معدلات النتح، ومن ثم خفض الري بمعدل ثمانية أضعاف. وينساب الهواء تلقائياً داخل البيت بسبب الحركة الطبيعية للرياح. ويوجد في خلف البيت الزجاجي منطقة تبخير مياه ثانية تزود مياه بحر ساخنة بواسطة أنابيب سوداء فوق سطح البيت، والهدف من ذلك هو رفع درجة الحرارة والرطوبة المطلقة في هذه المنطقة الخلفية بالتحديد.

بعد ذلك يمرر الهواء الساخن المشبع بالرطوبة ليلامس سلسلة من أنابيب طولية سوداء مصنعة من البوليثين ويمر بداخلها ماء بارد قادم من منطقة التبخير الأولى الموجودة في مقدمة البيت الزجاجي. يشبه عمل أنابيب البوليثين السوداء الطولية عمل ظهر الخنفساء فيقوم بتكثيف الرطوبة. تتشكل قطرات الماء على السطح الخارجي للأنابيب وتنساب إلى خزان لسقاية المحاصيل. المشروع بصورة أساسية يحاكي الطبيعة ويحسن الظروف الحرارية للبيت بالطريقة نفسها التي يصيد فيها الخنفساء الماء: زيادة بخار مياه البحر تزيد من نسبة الرطوبة وزيادة مسطح الأنابيب الطولية السوداء تزيد من عملية التكثف فتتحول المياه المالحة إلى مياه عذبة باستخدام الشمس والرياح

وكمية بسيطة من الطاقة لتشغيل المضخات. وبالمناسبة هناك بعض الأمثلة الحيوية للتحلية المباشرة للمياه مثل شجر الأيكة الساحلية، وهي تعيش في بيئات شاطئية مالحة وتعتبر المكان المفضل لبيوت طيور البطريق ويمكن أن نستلهم من شجر الأيكة طرقاً أخرى في تحلية المياه قد تعتمد على استخدام الأغشية بشكل مباشر بدلاً من التحلية عن طريق توليد الطاقة التي تتطلب وجود عناصر بأشكال معمارية مختلفة.

هناك أمثلة كثيرة أخرى لنباتات تستخرج الماء من الهواء الرطب عن طريق أوراق ذات مسطحات كبيرة تقوم بتكثيف الضباب المار بها. تعيش أنواع من الغار واسمها العلمي (Ocotea foetens) في جزيرة إل هييرو وهي إحدى جزر الكناري، وأحد تلك الأنواع لديه قدرة فعالة في استخراج الماء من الهواء الرطب لدرجة أنه صار شجرة مقدسة. وتقول الأساطير إنه في القرن السادس عشر كان يوجد نوع من شجر الغار يعرف بـ (Garoe) أو الشجرة النافورة استطاعت أن تمد السكان المحليين بما يكفيهم من الماء طيلة مدة الحصار المفروضة عليهم. كان من الممكن محاكاة ذلك بكل سهولة عن طريق بناء شبكات الضباب، تماماً كما فعل الدكتور روبرت شيميناور في مناطق أخرى من جزر الكناري تعرت من النباتات خلال القرن العشرين. تصيد الشبكات قطرات الماء وتقوم بتسريبها عبر أقماع إلى شتلات أسفل منها، وبمجرد أن تكبر الشتلات بضعة أمتار فوق سطح الأرض تصبح قادرة بنفسها على صيد الرطوبة، من الضباب، والسبب في عدم قدرتها على صيد الرطوبة وهي قريبة من الأرض هو أن سطح التربة يكون عادة أكثر دفئاً من الهواء. في المواقع التي تشهد ضباباً دائماً، يمكن تطبيق المبدأ نفسه وتكسية المباني بواجهات تحاكي أوراق شجر الغار وربما تستطيع تلك التكسيات أيضاً صيد كل ما يحتاجه السكان من الماء.

التركيبة الهيكلية لأنف الجمل من أعجب العجائب، فهو كالمحارة عظامها إسفنجية مغطاة بنسيج وعائي. وعندما يتنفس الجمل يبرد النسيج عن طريق تبخر الماء بواسطة الهواء الجاف، وعند الزفير يمر الهواء الخارج من الرئتين بهذه المساحة الكبيرة الباردة فيتكثف بخار الماء وبذلك يحول دون خروجه (وبذلك فهو الحيوان الوحيد الذي يستعيد الماء الموجود في الهواء الذي يتنفسه). ويتيح التكوين المعقد لمحارة الأنف مسافة صغيرة جداً بين السطح الداخلي ومركز تيار الهواء، ومن ثم سهولة انتقال الحرارة وبخار الماء بينهما. وخلال حرارة النهار سينتقل حتماً أثر التبريد إلى المخ عن طريق الشعيرات الدموية ليبقى هذا الجهاز الحيوي في بعض الأحوال القاسية أبرد من بقية أجزاء جسم الجمل بحوالي ست درجات. وكليتا الجمل وجهازه الهضمي قادرة على تحمل نقص الماء في جسمه إلى درجة أن بول الجمل مركز جداً وروثه جاف يمكن إيقاد النار منه مباشرة. لقد بحث عدد من المهندسين محارة أنف الجمل وغيره من الثدييات من أجل تصميم أفضل لاسترداد المياه في المبادلات الحرارية.

ينمو نبات الراوند الصحراوي في أجزاء من الأردن وفلسطين المحتلة حيث تقل معدلات هطول الأمطار ويصل حدها الأدنى إلى ٧٥ ميللمتر في السنة. وأوراقها دائرية وكبيرة ولها ملمس مميز يشبه سلسلة جبال مصغرة تغطي كل سطح الورقة. وفسر بعض علماء النبات قوام الورقة بهذا التشكيل الجبلي المصغر والبشرة الدهنية على أنه يساعد الماء للاتجاه نحو مركز النبتة، مشكلاً بذلك نظام مائي يكافئ أضعاف هطول الأمطار السنوي.

حرباء الشيطان ذات الأشواك مثال آخر عجيب للتأقلم مع شح المياه فهي تحصد المياه بطريقتين: باستخدام أرجلها وباستخدام نتوءات على ظهرها. وتغطي جلدها أخاديد شعرية صغيرة بحيث لو وقفت بأرجلها على رقعة أرض مبتلة فإن الماء يصعد باتجاه فمها بتأثير الجاذبية الشعرية. وحين تسمح الظروف وتتساقط قطرات ماء على نتوءات ظهرها (بطريقة مشابهة للبروزات على ظهر الخنفساء صياد الضباب) فإن قطرات الماء تتجمع ثم تنحدر في اتجاه فمها سالكة شبكة الشعيرات الأخدودية الصغيرة نفسها.

٨٠. البيت الزجاجي لمياه البحر في عمان كما يبدو فور الانتهاء من تشييده.

٨١. البيت الزجاجي لمياه البحر بعد مضي عام من تشييده.

مسرح مائي في لاس بالماس

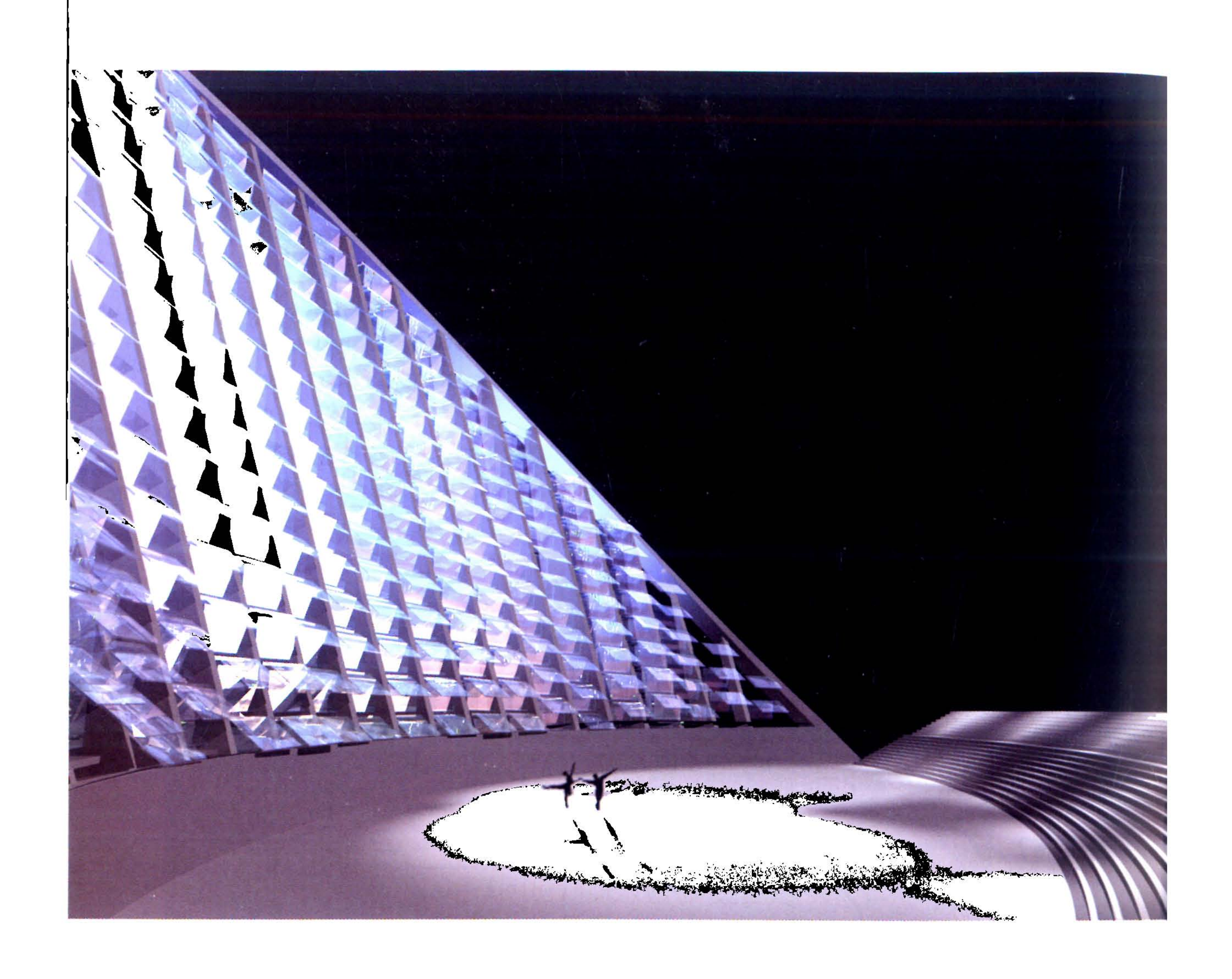
المسرح المائي في لاس بالماس (الشكل ٨٢) كان مقترحاً قدم إلى كناريا الكبرى ثالث أكبر جزر الكناري وهو خير مثال يوضح كيف يمكن تحويل تحديات ندرة المياه إلى حلول مبدعة. عانت الجزيرة من نقص مستمر في معدل هطول الأمطار السنوي وقابل ذلك زيادة في أعداد السياح وهو ما جعل الجزيرة تعتمد على المياه المحلاة القادمة من إسبانيا. إن توفير المياه بهذه الطريقة يستهلك كميات كبيرة من الكربون سواء أكان ذلك في التحلية عن طريق حرق الوقود الأحفوري أم في نقل الماء بطرق غير مناسبة عبر المحيط (مقارنة بضخ المياه عبر الأنابيب)

وجاء مشروع المسرح المائي عن طريق مسابقة ودُعي جريمشاو للمشاركة بها. لاس بالماس مدينة صغيرة تقع في جزيرة وهي على شكل مضيق ويقع على جانب منه مجموعة فنادق مطلة على شاطئ المدينة ويقع على الجانب الآخر طريق بست حارات وميناء للحاويات بشع المنظر. كانت المسابقة مفتوحة ودعت إلى تقديم مقترحات لتجديد الميناء. اقترح فريق جريمشاو بناء منصة خفيفة الوزن فوق الطريق لإنشاء حديقة جديدة، وكذلك بناء برج سكني متعدد الاستخدامات على واحدة من الأرصفة البحرية لحجب المنظر الأسوء في الميناء. في حين أن المسابقة لم تشترط متطلبات محددة لمواجهة تحديات نقص المياه التي تعاني منها الجزيرة، فقد قرر الفريق بحث إمكانية وجود مبنى جذاب يجمع بين قدرته على تحلية المياه، وفي الوقت نفسه تقديمه خدمة عامة. وتعاون شارلي باتون مخترع البيت الزجاجي لمياه البحر مع الفريق وساعدهم في توليد الأفكار الخاصة بتحلية المياه.

كما رأينا في مواضع عدة من هذا الكتاب فإن الكائنات الحية تتأقلم وتستفيد من كل الفرص المتاحة، وجزر الكناري غنية في هذا المجال وتملك كثيراً من الأدلة. بعيداً عن شجر الغار الذي سبق وصفه سابقاً؛ تتمتع جزر الكناري بسرعات رياح مستقرة معظم أيام السنة. ونظراً لأنها جزر بركانية التكوين فإن حواف الجزر عميقة جداً تحت مستوى البحر، وهو ما يعني أن مد أنبوب إلى أعماق بعيدة تحت البحر مجد من الناحية الاقتصادية. في هذا الجزء من العالم تكون درجة حرارة الماء على عمق ١٠٠٠ متر تحت سطح البحر ثابتةً بقيمة ٨ درجات سلسيس. الطاقة الشمسية أيضاً متوفرة وبذلك بدا واضحاً إمكانية تصميم المشروع على أساس مطور من فكرة البيت الزجاجي لمياه البحر. وستكون البداية عن طريق نظام تبخير يستخدم الطاقة الشمسية في عملية التسخين ونظام تكثيف يستخدم مياه البحر الباردة. وسينتج عن نظام التبخير كميات وافرة من بخار الماء وحين تكثيفها على أسطح لا تتجاوز درجة حرارتها ٨ درجات سلسيس سيتم تجميع مياه نقية بكميات كبيرة.

اقترح مدير المشروع نيفين سيدور تحويل تلك الفكرة البسيطة إلى شكل احتفائي عبارة عن قوس ضخم منحني إلى الخلف ليشكل خلفية لمسرح مفتوح. هنا ارتقت محطة تحلية المياه من مجرد بنية تحتية لا قيمة لها إلى مستوى تحفة معمارية. ويمكن أن تفهم المشروع على أنه مبنى مثير يحتوي على محطة تحلية مياه مجانية والعكس صحيح. قدرت الحسابات الأولية أن المشروع سينتج مياهاً نقية باستهلاك عشر الطاقة اللازمة مقارنة بطرق الإنتاج الحالية.

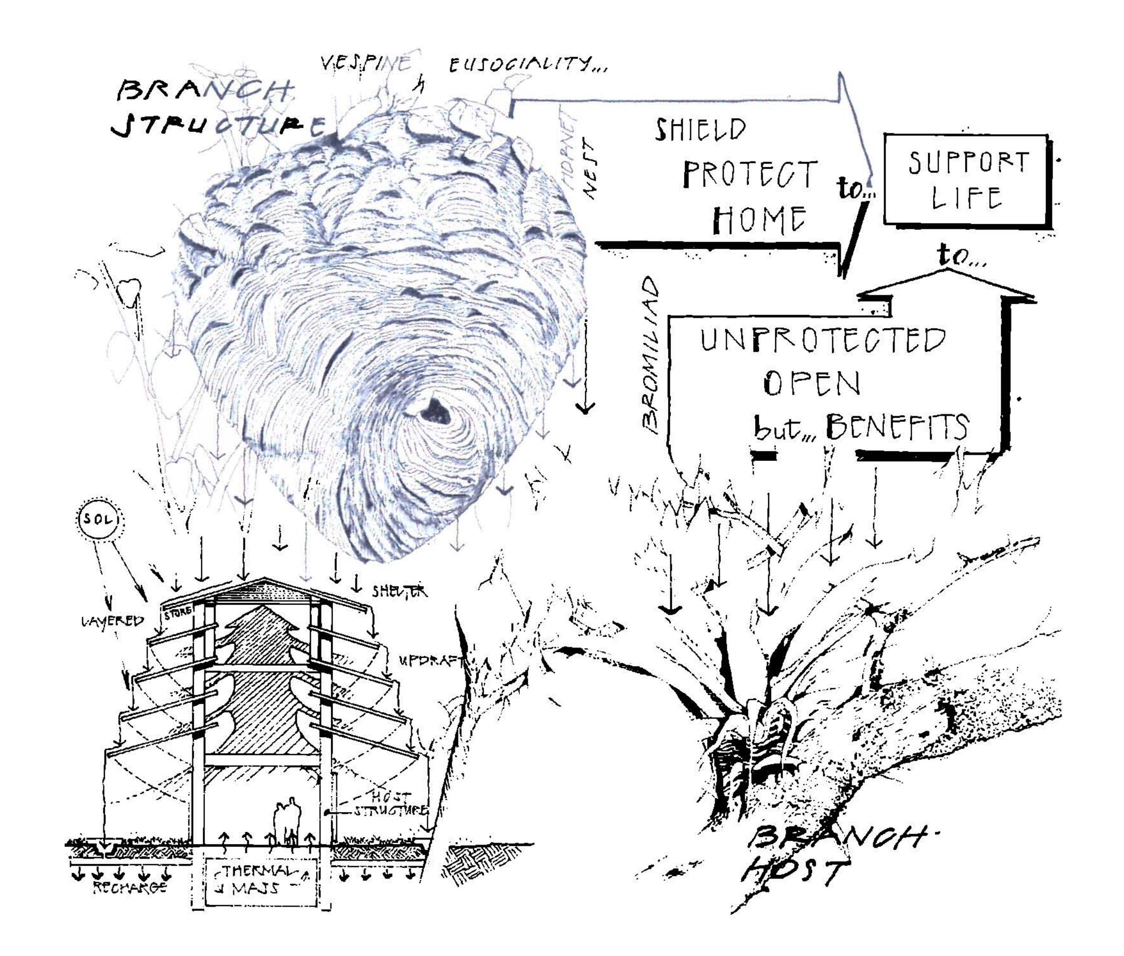
جاهد الفريق لتحقيق أقصى استفادة من مياه البحر الباردة لدرجة أن المياه تظل باردة حتى بعد مرورها على خلفية منصة المسرح بل يمكن استخدامها في تبريد المباني القريبة متعددة الاستخدام. بعد تمرير مياه البحر من خلال مبادل حراري سيظل بالإمكان توفير مياه نقية وباردة تستخدم في الأفنية الداخلية المزروعة. كما يمكن لرذاذ مياه النافورة أن يكون سطحاً بارداً يتكاثف عليه بخار الماء العالق في الهواء ومن ثم توفير كميات أكبر من المياه يمكن استخدامها لأغراض الري. تلك الحدائق الطبيعية التي تذكرنا بحدائق الحمراء مع وجود المسرح المائي يسطر بجلاء رواية موضوعها موردٌ ثمينٌ نعتقد جميعاً أن وجوده أمرٌ مفروغ منه.



٨٢. المسرح المائي في لاس بالماس من تصميم جريمشاو الذي نجح في تحويل مرفق للبنية التحتية إلى معلم معماري عن طريق محاكاة الطبيعة.

قال أموري لوفينز ذات مرة مازحاً: "الماء بالنسبة للمهندس المدني العادي مجرد كميات مزعجة من الأمتار المكعبة تنتقل من مكان إلى آخر في أنابيب خرسانية كبيرة". في كثير من الأحوال هناك عدد من الطرق الإبداعية لإدارة الفائض من المياه وتحقيق فوائد عدة مثل: تقليل تكاليف البناء، وتقليل مخاطر الفياضانات، وتكوين مسطحات مائية ثرية في تنوعها البيئي، وإعادة تغذية المياه الجوفية، وغير ذلك. وتبنت رابطة مقلدي الطبيعة بالتعاون مع مكتب إتش أو كي معماريون؛ طريقة أكثر شمولية وإبداعاً لحل مشاكل البناء في منطقة لافاسا بالهند التي يهطل عليها ١١ متراً من الأمطار خلال العام ومعظمها يهطل في ثلاثة أشهر فقط.

جوهر الحل المبدع الذي قدموه هو تصميم مبانٍ ذات أسطح تزيد من معدل التبخر بدلاً من الطريقة التقليدية المتبعة في تصريف مياه المطر من خلال مزاريب ثم تحويلها إلى أنابيب صرف المياه (الشكل ٨٣). جاءت هذه الفكرة بعد دراسة مستفيضة للبيئة المحلية والطريقة التي يتدفق بها الماء . لقد استنتجوا أن ٣٠٪ من الأمطار الساقطة في الغابات الطبيعية تبقى على الغطاء الشجري حتى تتبخر مرة أخرى إلى الغلاف الجوي. إن من المألوف في بيئات الغابات المطيرة أن يتبخر الماء من سطح البحر ثم تحمله الرياح وتلقي به إلى اليابسة مرات عدة. وبمعنى آخر تعمل الغابات القريبة من الشواطئ وكأنها مضخات غلاف جوي تدفع الأمطار إلى أعماق اليابسة، ومن المهم إذن المحافظة على هذه الدورات الطبيعية. إن زيادة معدلات البخر هي أحد أهم متطلبات التصميم والمحرك الرئيس لتشكيل المبنى وقد أدى ذلك إلى تصميم متتالية من الأسطح بعضها فوق بعض ومكونة من مواد تمتص المياه. وعمم تصميم إدارة مياه الأمطار على كل المسطحات العمرانية للحد من سريان الماء وكذلك تم العمل على زيادة تسريب الهواء في المباني وإعادة تعبئة المياه الجوفية.



إذا أردنا أن نلقي نظرة إستراتيجية هادئة على دورة الغذاء في العالم؛ فإن ذلك سيقودنا حتماً إلى إحداث تغيير جوهري في الطريقة التي نتعامل بها مع الصرف الصحي. وفقدنا في نصف القرن الأخير فقط، فقدت تربة الأرض كميات كبيرة من المعادن؛ بسبب النموذج الخطي لتدفق الغذاء عن طريق الطعام وأمعاء الإنسان والأسلوب المهيمن الراهن لمعالجة مياه الصرف الصحي.

وأدى هذا مباشرة إلى نقص كمية المعادن في الطعام في الفترة من ١٩٤٠ إلى ١٩٩١، وأظهرت دراسة شاملة نقصاً نسبته ١٩٪ في الماجنيزيوم، و٢٩٪ في الكالسيوم، و٣٧٪ في الحديد، و٦٢٪ في النحاس[٦٢]. أضف إلى ذلك أن إنتاج الأسمدة الحالية يعتمد بشكل كبير على الوقود الأحفوري بوصفه مادة أولية، وأن إمداد مركبات مثل الفوسفات مستمر في التناقص. كل تلك الشواهد القوية تحتم علينا إنتاج الغذاء ومعالجة الصرف الصحي بطريقة تنقلها من نموذج خطي منتج للنفايات والتلوث إلى حلول نموذج حلقي مغلق. وقد يؤدي هذا مستقبلاً إلى مبانٍ بأنظمة مستقلة تفصل بين المخلفات الصلبة والمخلفات السائلة وتستخدم أساليب فصل تبدأ بكراسي المرحاض[٦٣]

يوجد هناك تقنية مشابهة تسمى تجارياً «آلة التعايش" (الشكل ٨٤) وتستخدم نظاماً بيئياً معقداً من النباتات والكائنات الحية الدقيقة تنمو في أحواض مبتلة وتعالج مياه



٨٤

٨٣. رسم تخيلي لمشروع لافاسا من تصميم مكتب إتش أو كي معماريون؛ يوضح كيف تأقلمت الأنواع المحلية مثل نباتات فصيلة البروميلية (ومنها ثمرة الأناناس) وأوحت للمصمم أفكاراً عدة ومنها فكرة متتالية الأسطح بعضها فوق بعض لصيد المطر وتبخيره.

٨٤. «آلة التعايش" في مركز آدم جوزيف لويس للدراسات البيئية بكلية أوبرلين من تصميم ويليام ماكدونو وشركاه الذين استخدموا النباتات والكائنات الحية لمعالجة مياه الصرف الصحي.

الصرف الصحي والمصانع إلى درجة إعادة استخدامها في سيفونات الطرد والري أو إعادة إدخالها في البيئة. ويعود السبق في استخدام إصدارات عدة من الأنظمة البيئية ذات الأرضية المبللة إلى عالمة الأحياء الدكتورة كاثي زايدل من معهد ماكس بلانك في بداية الخمسينيات الميلادية. وتم تطوير الفكرة بعد ذلك من قبل عدد من مصممي البيئة ومنهم الدكتور جون تود، ثم ترويج النظام تجارياً عن طريق ورل للصناعات آلة التعايش هي نقيض للطريقة المركزية وتشبه إلى حد بعيد الطرق غير المركزية المحلية المرنة التي تعالج بها المياه في الطبيعة. بينما تعتمد الطريقة التقليدية في الصرف الصحي على بنية تحتية ضخمة وحلول "نهاية الأنبوب" المعقدة، وتتجنب "آلة التعايش" النقل لمسافات طويلة ومعالجات ليست بالضرورة بمواصفات عالية (عندما لا يكون المستهدف النهائي هو الاستهلاك الآدمي). وتتحكم الأنظمة الجديدة وبكفاءة عالية في مسببات الأمراض وتعالج الرائحة وما يصاحب الصرف الصحي من مشاكل مزعجة لدرجة أن عدداً من آلات التعايش ركبت في أبهية مبان تجارية.

بعض الحلول الأخرى التي تحاكي الطبيعة في معالجة المياه تشمل تقنية الدوامة، وتقنية أكوابورن لتنقية الماء، وتقنية بايوليتكس لتنقية المياه. كل التقنيات الثلاث تعتمد على أفكار مستمدة من علم الأحياء (تعتمد تقنية الدوامة على تبادل الغازات، وتعتمد تقنية أكوابورن على عمل الكلية بالثدييات، أما تقنية بايوليتكس فتعتمد على عمل ميكروبات التربة) وباستطاعتها تقديم حلول ناجعة في مجال المباني، ولكن دورها محدود في المساهمة في الفراغات والأشكال المعمارية مقارنة بتقنية "آلة التعايش" التي تستطيع أن تساهم وتستطيع أيضاً أن تعمل باستقلالية ذاتية.

نقل المياه

من المتوقع أن يستهلك نقل السوائل داخل أجزاء الحيوانات الضخمة سدس الطاقة المبذولة من الحيوان في وضع الراحة، فلا غرابة إذن أن نظام نقل السوائل في الحيوان نظام متطور

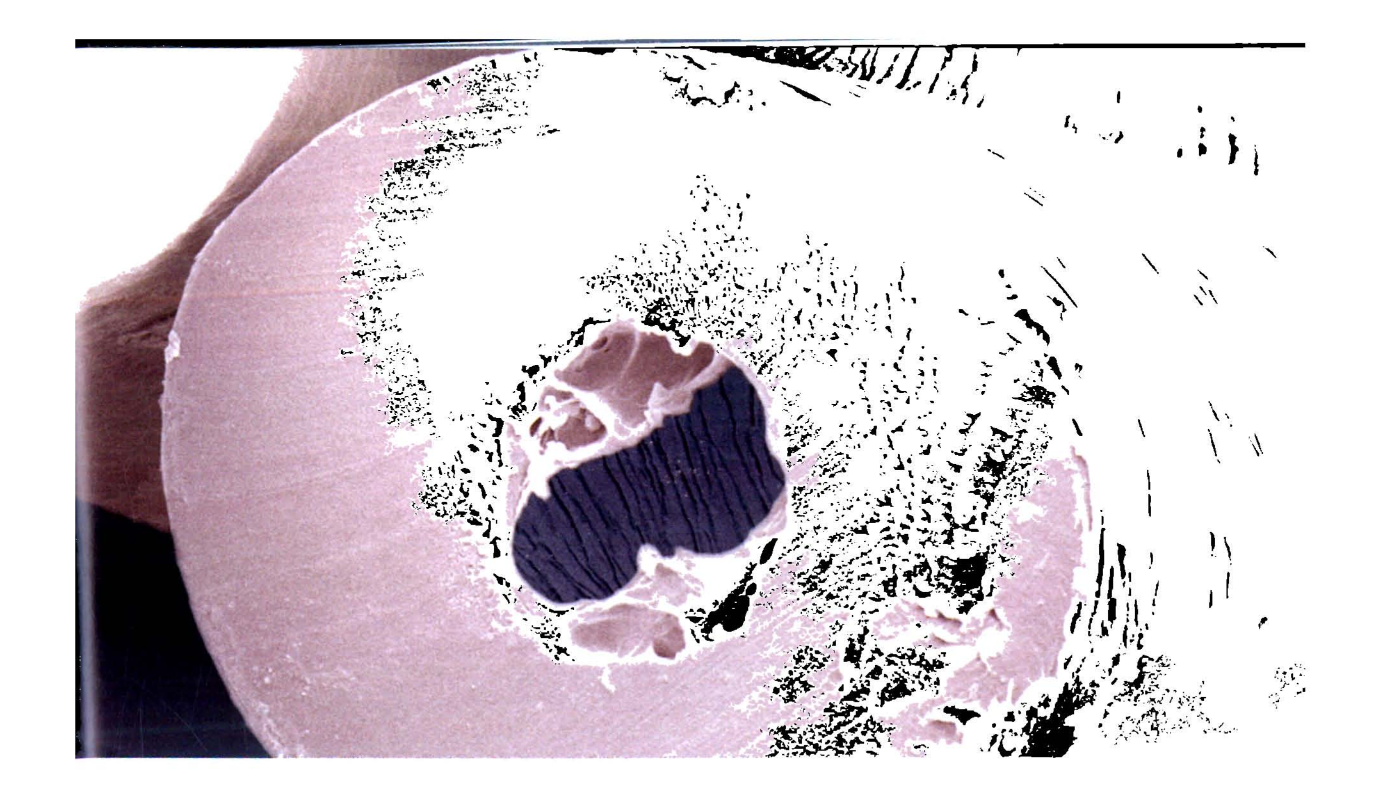


جداً ويستهلك أقل القليل من الطاقة[٦٥] طور العالم البيولوجي سي دي موريه معادلة (تعرف الآن باسم قانون موريه)، وهذه المعادلة تستطيع تحديد أقطار تقريبية للأوعية الفرعية، وقد أثبتت مصداقيتها في معظم الدورات الدموية والأجهزة التنفسية في الحيوانات وكذلك فروع النسيج الخشبي في النباتات. ويذكر قانون موريه أن مكعب قطر الوعاء الأب الذي يتفرع بالتساوي إلى وعائين فرعيين يساوي مجموع مكعب قطري الفرعين. وكشفت دراسات حديثة اعتمدت على أبحاث موريه عن أن الزوايا تكاد تكون ثابتة بين تفرعات الأوعية وتقع في حدود ٧٧ درجة، وفي هذا دليل آخر على حلول منخفضة الطاقة[٦٦] ربما يساعد ذلك في أن نجد حلولاً موفرة في تصميم وتركيب أنابيب ومجاري الهواء باتباع معادلة مشابهة كالتي تستخدم في الطبيعة بدلاً من تلك التي تدرس في مدارس الهندسة الميكانيكية.

نتائج بخصوص إدارة المياه

على المنوال نفسه الذي نستخدم به الوقود الأحفوري، فإن كثيراً من أساليبنا القياسية في التعامل مع الماء تتوارث تخلفاً تكنولوجياً نشأ أصلاً وتطور من فرضية الموارد غير المحدودة التي ورثناها مع بداية الثورة الصناعية وما زلنا نتبنى تلك المواقف تجاه موارد أخرى. وتكشف دراسة التأقلم في البيئة لنا عن حلول لكثير من المشاكل الشائكة مثل: صيد المياه في الصحراء، وبيت زجاجي يقلل استهلاك المياه بمعدل ثمانية أضعاف، ومشروع مثل مسرح مائي في لاس بالماس يوفر مياهاً نقية بمعدل قيمته ١٠ على مؤشر توفير الطاقة. وإعادة التفكير في طريقة معالجة مياه الصرف الصحي قد تعيد لنا خصوبة التربة وتمد المباني والمدن بأنظمة طاقة مثالية وترفع من كفاءة استهلاك الموارد.

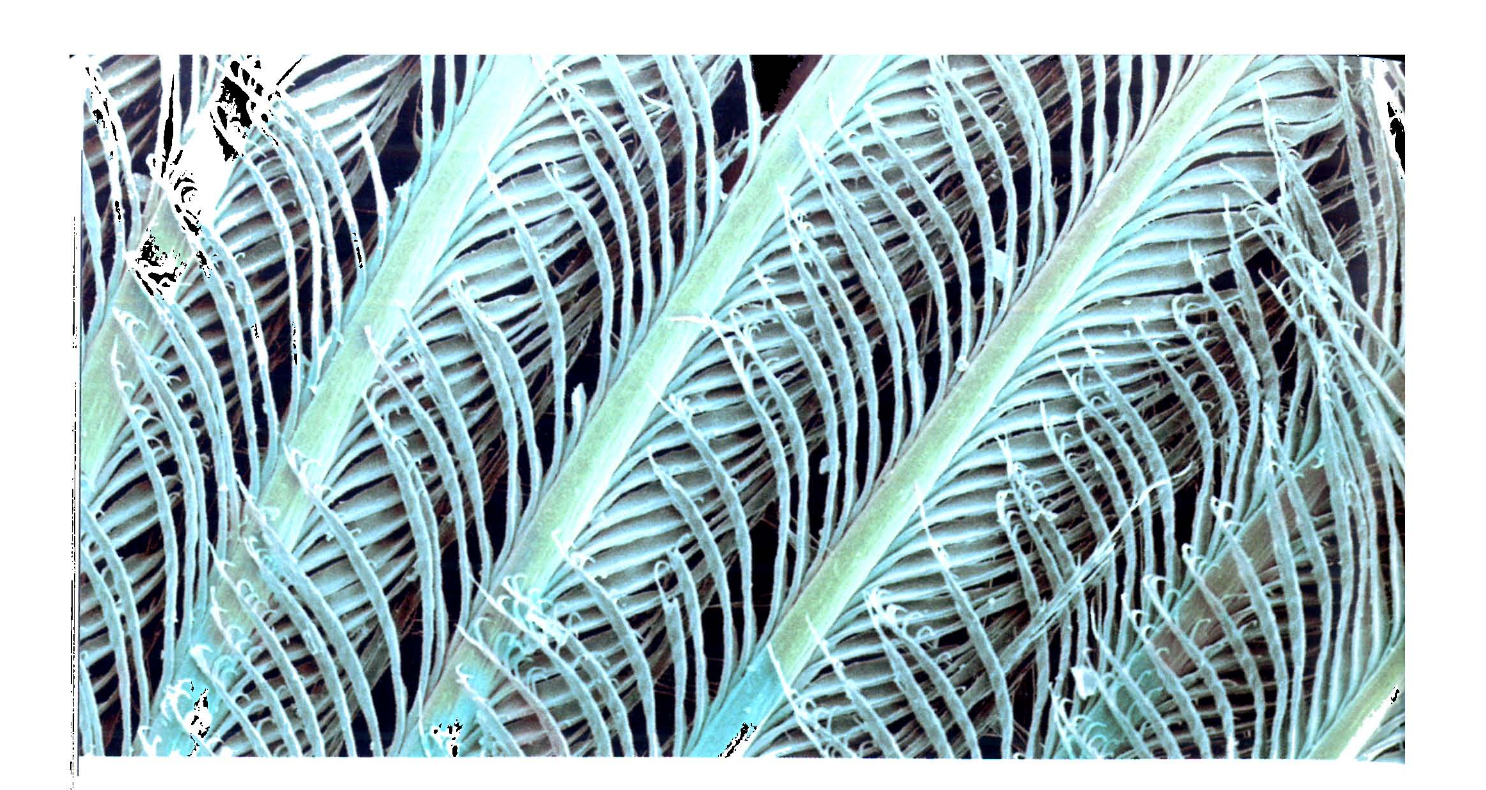
٨٥. وجد العالم البيولوجي سي دي موريه أن الأقطار التقريبية للأوعية الفرعية في الحيوانات والنباتات وكذلك زوايا التفرع تتبع معادلة رياضية ثابتة وهو ما يدعم نظاماً منخفض الطاقة. ويمكن للمهندسين والمعماريين تطبيق الأسس نفسها لأعمال وأنظمة الأنابيب ومجاري الهواء.



الحرارة الداخلية للعش ٤ درجات سيلسيس أعلى من الجوار[٦٨] وتبنى تلال النمل الأبيض غالباً في مناطق تتباين فيها درجات الحرارة بشكل كبير لكنها تبقى دافئة أو باردة حسب الحاجة وبها حلول ملهمة يمكن الاستفادة منها في تبريد المباني، ولذلك سنؤجل الحديث عنها إلى موضع آخر من هذا الفصل.

وتتولد الحرارة بشكل مستمر من خلال التمثيل الغذائي، وللمحافظة على الجسم دافئاً هناك حلول بيولوجية عدة تعمل على تقليل فقد الحرارة. والثديات البرية التي تعيش في المناطق المعتدلة تقلل من فقد حرارة أجسامها باستخدام طريقتين مهمتين: الأولى: عن طريق طبقة دهنية داخلية تحت الجلد، والثانية: عن طريق غطاء كثيف من الفرو فوق الجلد. الدب القطبي والرنة وهما من الحيوانات التي تعيش في المناطق الباردة لديهما وسائل إضافية للتأقلم مثل: ألياف شعر مجوفة لزيادة العزل الحراري (الشكل ٨٧). ويتكون فرو الرنة من طبقة أساسية كثيفة من الشعر قريبة من الجلد تقوم بوظيفة حبس الهواء لتقليل فقد الحرارة عن طريق الحمل، بينما الشعر الأطول يعمل عمل "الحارس" إذ يقوم بعزل المياه وتقليل تأثير تبريد الرياح. ولسنوات طويلة كان الظن بأن شعر الدب القطبي يقوم بوظيفة نقل إشعاع الشمس إلى الأدمة السوداء في الجلد بوصف ذلك إحدى وسائل التأقلم لتجميع حرارة الشمس، لكن ثبت لاحقاً أن ذلك مجرد خرافة. وقد بنى بعض المهندسين والمعماريين على هذا الفهم الخاطئ أنظمة حوائط تحاكي الدب القطبي باستخدام حائط مدهون بطلاء أسود خلف زجاج عازل ويوجد بين طبقتيه الزجاجيتين خيوطاً جوفاء. ويحتاج النظام إلى طبقة خارجية من فتحات قابلة للضبط لمنع زيادة التسخين وهو ما يجعل النظام أكثر كلفة. ولو استبعدنا موضوع التكلفة وافترضنا نجاح النظام فإنه بذلك يكون حلاً منخفض الطاقة، ولكن لا يصنف بوصفه تصميماً يحاكي الطبيعة أكثر من كونه تصميماً متأثراً بالخرافة الحيوية والأساطير. هناك أمثلة أخرى على العزل الحراري في مملكة النباتات مثل أشجار القريض والتي تنمو على سفوح جبل كينيا. حيث تقوم هذه الشجرة بتجميع الأوراق الميتة منذ سنوات عدة في طبقة سميكة على جذع الشجرة وبذلك توفر عزلاً حرارياً للجذع وتمنع تجمد المياه في أنسجة العروق.

طائر البطريق لديه ريش (الشكل ٨٨) يسمح بالتكيف مع ظرفين مختلفين. وعند السباحة يضم البطريق ريشه على جسمه من أجل المحافظة على انسيابية أفضل، أما على اليابسة فيرفع البطريق ريشه بحيث إن كتلة الشعر الناعم أسفل الريش تشكل ملايين من الجيوب الهوائية المحبوسة التي توفر عزلاً حرارياً بكفاءة أفضل.

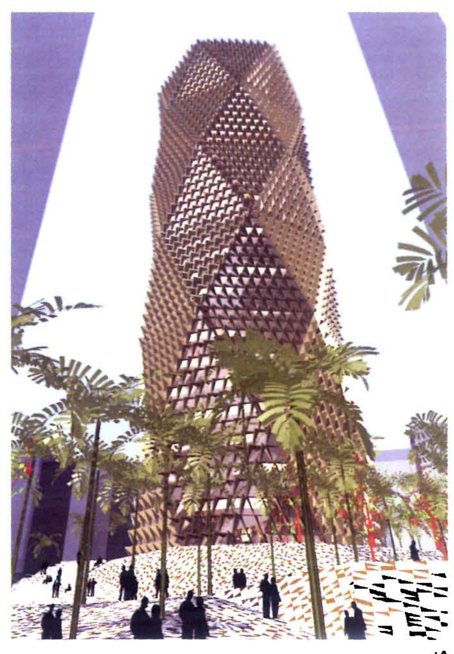


وليس العزل الحراري في المباني بالأمر الجديد بطبيعة الحال. وربما يكون الدرس المهم الذي نتعلمه من البطريق هو التأقلم مع ظروف مختلفة، في حين أن الأغلفة الخارجية للمباني تبقى كما هي بغض النظر عما إذا كان هناك شمس حارقة في النهار أو عاصفة ثلجية في الليل. وتتجمع طيور البطريق بعضها بجانب بعض في مجموعات كبيرة لتقليل المساحة المعرضة للخارج، وباستطاعتنا تطبيق قواعد مشابهة لتجميع المباني من خلال ربطها بأروقة تفتح في الصيف لزيادة معدلات التهوية وتغلق في الشتاء لتقليل الفاقد من الحرارة. هذه الأفكار ترجمة حرفية أكثر منها تطبيق تقني ولكن ومع ذلك تبقى صالحة. إحدى التقنيات الواعدة والقريبة من فكرة الغلاف ذاتي التكيف هي تقنية "سطح شمسي - SolaRoof" من تطوير المخترع ريك نيلسون والمهندس بيل واتس. وتتكون تقنية "سطح شمسي" من فراغ بعمق يقارب من ٧٥ ميليمتر يفصل بين طبقتين شفافتين من اللدائن البلاستيكية، وعند الحاجة لزيادة العزل الحراري يملأ الفراغ بفقاعات من محلول الصابون. ويبلغ قطر فقاقيع الصابون ٦ ميلليمترات تقريباً وعملها مشابه تماماً لعمل الجيوب الهوائية أسفل ريش البطريق وهي تعد بملايين الأجسام الهوائية الثابتة تفصل بين الفراغ الداخلي والفراغ الخارجي. ويزعم مطورو تقنية "سطح شمسي" أن يحقق معدلاً قيمته ١٠ على مؤشر توفير الطاقة مقارنة بالسطح التقليدي المكون من طبقتين من اللدائن البلاستكية.

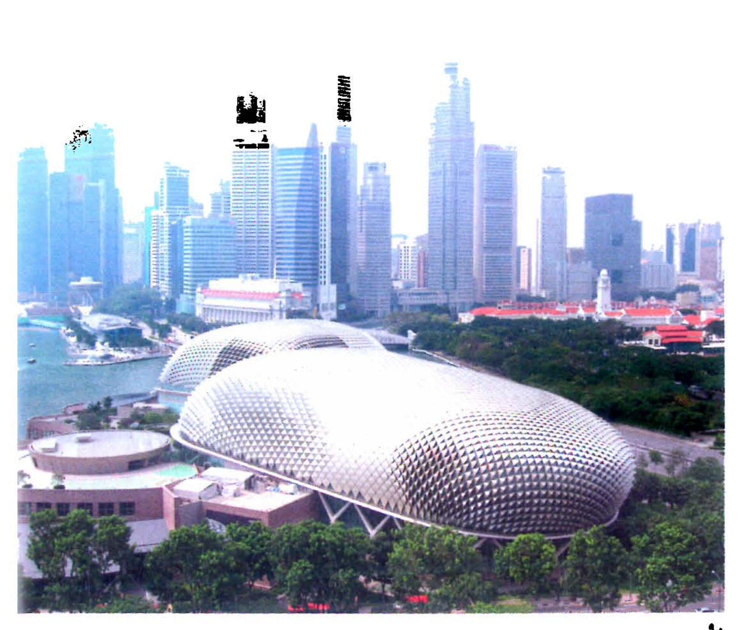
نتطلع لرؤية تقنيات ذاتية التكيف تنتقل من مجرد تطبيقات محدودة إلى تطبيقات أكثر شمولية تعم الأسواق. إذا استطعنا تحقيق تقدم كبير في خفض الفقد الحراري من المباني، عندئذ يمكن أن نطبقها على مستوى المنازل السلبية التي تستغني تماماً عن نظام التدفئة وتستبدله بالحرارة الصادرة من أجسام الساكنين عن طريق عملية التمثيل الغذائي والحرارة الصادرة من الأجهزة المنزلية (مماثلة للحرارة الصادرة من عملية التمثيل الغذائي) لتعويض الفقد الحراري من الجلد. إن الوصول لهذه المستويات في تحسين الأنظمة الشاملة مرتبط بتحقيق تغيير كمي في أداء الطاقة.

٨٧. ألياف شعرة مجوفة من جسم دب قطبي – وسيلة للتأقلم تحسن من أداء العزل الحراري.

٨٨. يستطيع طائر البطريق أن يرفع ريشه بحيث إن كتلة الشعر الناعم أسفل الريش تشكل ملايين من الجيوب الهوائية المحبوسة التي توفر عزلاً حرارياً بكفاءة أفضل.



٨٩

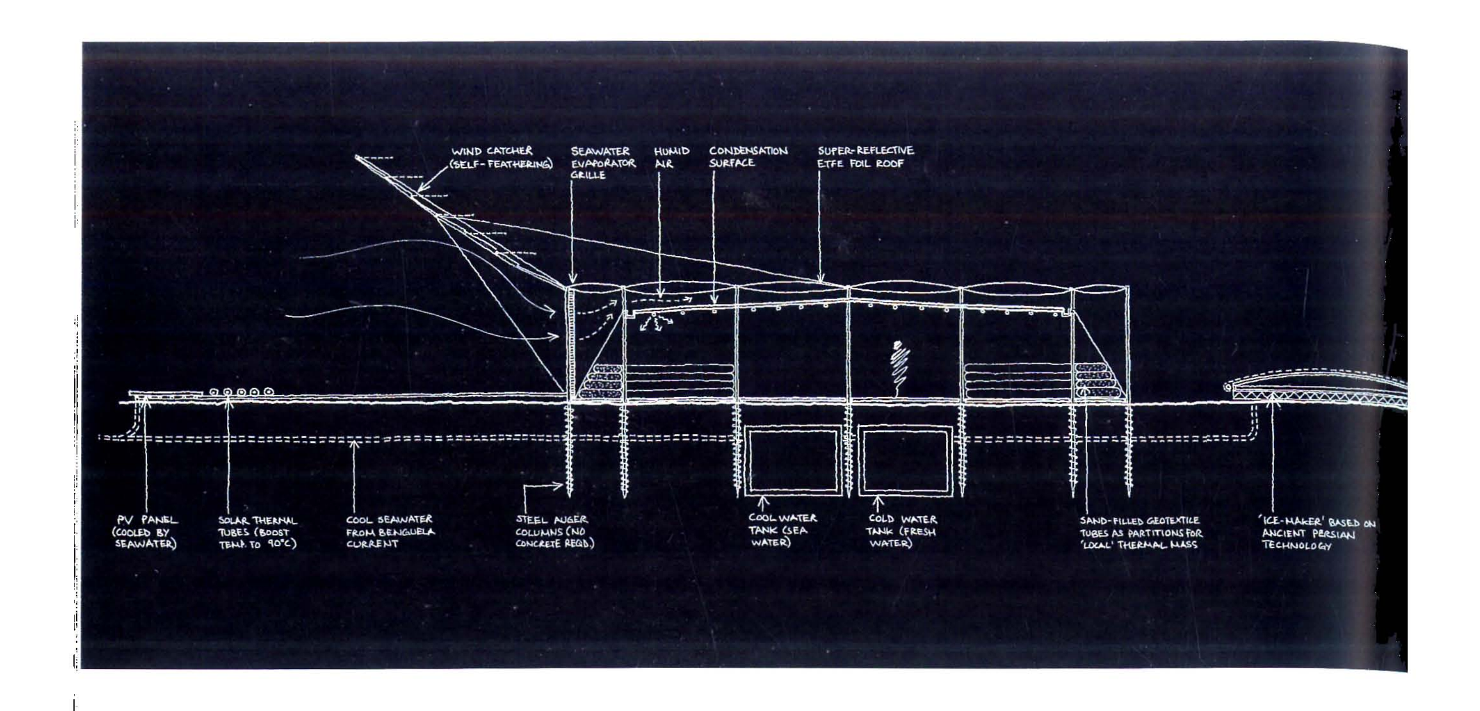


٩٠

البقاء بارداً

تنتقل الحرارة بأربع طرق وهي: الإشعاع، والتبخير، والتوصيل، والحمل. ومعظم الكائنات التي تعيش في المناطق الحارة تذهب إلى أبعد ما يمكن لتجنب التقاط الحرارة. بعض تلك الكائنات يتجنب حرارة الإشعاع بعدم التعرض نهائياً إلى الشمس أو الاختباء السريع وسط الرمال لتقليل انتقال الحرارة إليه عن طريق التوصيل. المنطق نفسه يمكن أن يطبق على العمارة وسيؤدي ذلك إلى نتيجة مفادها أن تجنب الكسب الحراري يمثل الأولوية القصوى إذا أردنا أن نحافظ على مبنى بارد. بالرغم من بداهة هذه النتيجة إلا أن التظليل الشمسي لم يتم توظيفه كما يجب في عمارة القرن العشرين. مشاريع مثل مشروع برج الرأس البسيط في سانتا كروز دي تينيريفي بإسبانيا (الشكل ٨٩) من تصميم "مكتب الخارجية- معماريون" ومشروع مركز سنغافورة للفنون (الشكل ٩٠) من تصميم مايكل ويلفورد بالاشتراك مع المرسم الأول والمرسم العاشر، وكلا المشروعين مقتبسان من النباتات، ويعطيان إحساساً لما يمكن أن يتحقق[٦٩] أعمال تشاك هوبرمان في تصميم المظلات القابلة للاتساع والانقباض هي مشهد آخر على جمال نهج التكيف مع التظليل الشمسي. كما أشرت سابقاً؛ يجب أن نطور مباني تتكيف مع الظروف المتغيرة إذا أردنا حقاً أن نحاكي أساليب الطبيعة في تخفيض الطاقة.

مشروع المقر الرئيس لمياه العالم (الشكل ٩١) من تصميم "المستكشف" وشارك في مسابقة بالتعاون مع شارلي باتون، واقترح التصميم طريقتين للتبريد: الأولى: عن طريق تبخير مياه البحر في مقدمة المبنى (كما كان الحال في البيت الزجاجي لمياه البحر وقد أشير إلى ذلك سابقاً)، والطريقة الثانية: هي نسخة مطورة عن التبريد بالإشعاع التي يستخدمها الخنفساء صائد الضباب. الإشعاع هو عملية يتم من خلالها انبعاث الحرارة من سطح دافئ إلى سطح أبرد، وفي الليلة الصافية يمكن لجسم بلون أسود مطفي أن يشع حرارته نحو السماء. إن درجة حرارة الفضاء الخارجي هي الصفر المطلق (ناقص٢٧٣ درجة سيلسيس)، ومن الصعب أن تجد مثيلاً منافساً لامتصاص الحرارة، وهذا يفسر لماذا تكون ليالي الشتاء



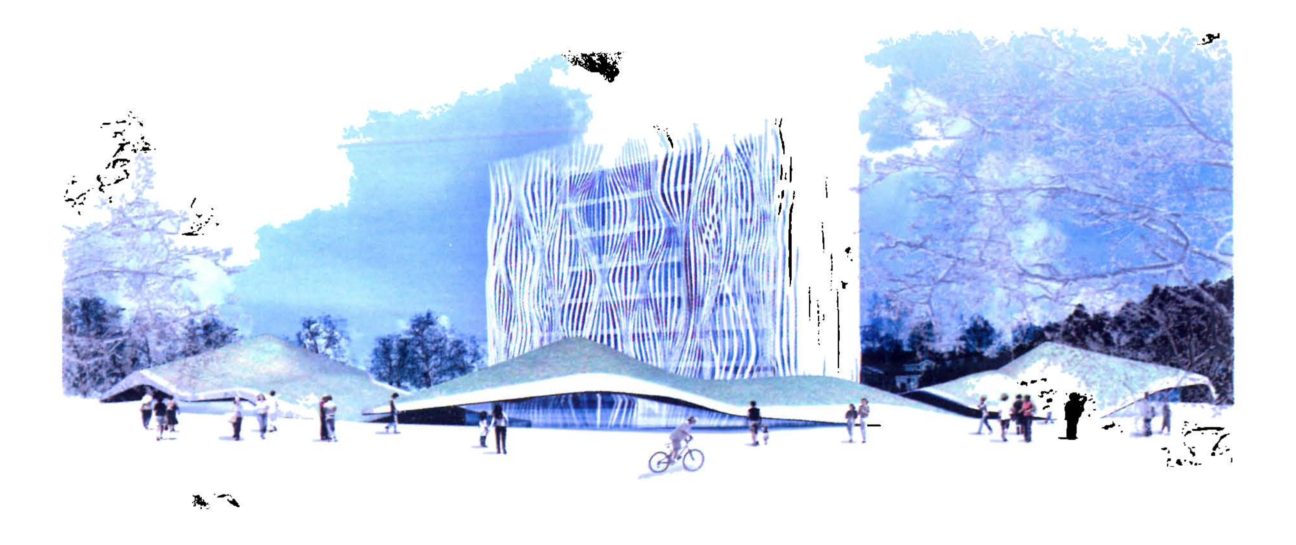
الصافية أشد برودة من الليالي الملبدة بالغيوم، في الليالي الصافية لا يقف حائل أمام الإشعاع نحو الفضاء الخارجي. واستخدم قدامى الفرس تلك القاعدة لصنع الثلج في الصحراء عن طريق صواني ضحلة من السيراميك مغطاة بزجاج مطلي باللون الأسود المطفي ويوضع بالصواني طبقة رقيقة من الماء. في الليالي الصافية، توضع الصواني في الخارج على حصيرة من التبن لمنع التوصيل الحراري عن طريق الأرض، وعن طريق فقدان الحرارة بواسطة الإشعاع يتجمد الماء. يجمع الثلج قبل طلوع الفجر ويستعمل في صنع الشراب المثلج. واستخدم مشروع المقر الرئيس لمياه العالم الأفكار نفسها ولكن على مقياس أكبر وتم استخدام خزانات أرضية لخزن المياه الباردة للاستفادة منها خلال حرارة اليوم.

إن تبخير الماء وسيلة ناجعة جداً للتبريد؛ لأن الحرارة النوعية للماء عالية ومن ثم فإن كمية صغيرة من الماء لديها القدرة على التخلص من كميات كبيرة من الحرارة. إن المسامات المجهرية (الثغور) على ورق النبات تتحكم في معدل التبخير وتبادل الغازات المشاركة في التركيب الضوئي. وتزيد الثغور اتساعاً كلما ارتفعت درجات الحرارة ويزيد تبعاً لذلك معدل تبخر الماء فيبقى النبات في معدلات أبرد ممن حوله. وفي أسوأ الحالات تذبل الأوراق وهو ما يعني تقليص مساحة الورقة المعرضة للشمس. وينتقل الماء في النبات من خلال حزم وعائية في عملية تعرف باسم النتح، ويتم ذلك بفعل الضغط الأسموزي والخاصية الشعرية. ويقصد بالخاصية الشعرية تلك الطريقة التي يصعد بها الماء من خلال أنابيب ضيقة، مثل: الأوعية الخشبية في النبات أو المواد المسامية، وتحدث بسبب قوى الجذب بين جزيئات الماء والأسطح الملاصقة له.

٨٩. **مشروع برج الرأس البسيط في سانتا كروز دي تينيريفي بإسبانيا استلهم تصميم زعانف كاسرات ظل الواجهات من ورق النخيل وتتبع حركتها حركة الشمس- من تصميم "مكتب الخارجية- معماريون"**

٩٠. **مشروع مركز سنغافورة للفنون يوضح ما يمكن تحقيقه باستخدام أنظمة تظليل مستوحاة من النبات- من تصميم مايكل ويلفورد بالاشتراك مع المرسم الأول والمرسم العاشر.**

٩١. **مشروع المقر الرئيس لمياه العالم استخدم لتبريد المبنى طريقة تبخير مياه البحر ومهارة فارسية قديمة في صناعة الثلج – من تصميم "المستكشف"**







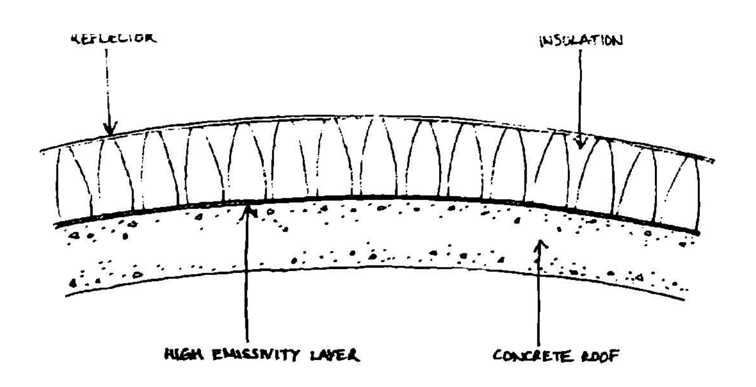
٩٢. مشروع محور الابتكار (IHub) المشارك في مسابقة من تصميم مكتب جيري تيت معماريون. حاول المشروع تجريب فكرة تبريد المبنى ذاتياً باستخدام الخاصية الشعرية وعملية النتح.

٩٣. تستخدم الفيلة آذانها الغنية بالشعيرات الدموية لتجميع حرارتها الداخلية من أجل التخلص منها، وفي بعض الأحيان ترشها بالماء عن طريق خراطيمها لزيادة التبريد بواسطة التبخير.

٩٤. وضع المهندس سلمان كريغ نظاماً لسطح علوي باستخدام نظرية بيو تيريز. ينعكس معظم الإشعاع الشمسي خلال النهار وفي الليل يستطيع النظام أن يفقد الحرارة بواسطة الإشعاع الليلي.

وحاول مكتب جيري تيت معماريون اكتشاف إمكانية توظيف عملية النتح في مسابقة مشروع محور الابتكار (IHub) (الشكل ٩٢). كان الهدف هو تصميم مبنى ذاتي التبريد باستخدام المياه ولكن بدون مضخات. إذا سخرت الخاصية الشعرية وعملية النتح كما يجب لدفع الماء؛ عندئذ سيساعد التبخير على إتمام العملية المطلوبة لتحقيق الهدف. سيكون أيضاً هناك توافق بين الطلب على التبريد وبين معدل توفيره؛ لأنه كلما اشتدت حرارة الجو زادت تبعاً لذلك معدلات التبخير. يظهر على الواجهة الجنوبية للمشروع شبكة من أنابيب تقوم بوظيفة الخاصية الشعرية ومن خلالها يمر الهواء ويبرد بالتبخير. ما زال البحث في جدوى الفكرة التصميمية قيد الدراسة ومهمة تنفيذ شبكات أنابيب شعرية طويلة تبدو صعبة، إلا أنها تستحق المزيد من المتابعة. وربما يكمن الحل في خاصية التناضح الكهربائي (خاصية فيزيائية تحدث في الطبيعة وتنجم عند وجود حقل كهربائي) بجانب الانتفاع الحيوي من النباتات بوصفها أسطح تبخير.

بجانب ما ذكر سابقاً عن صفائح ظهر الديناصورات؛ يوجد أمثلة عجيبة أخرى من هياكل بيئية تستخدم لتحقيق توازن حراري بواسطة الحمل والإشعاع. ولدى طائر الطوقان



٩٤

ذو المنقار الكبير* قدرة في التحكم في كمية تدفق الدم إلى منقاره وبذلك يستطيع التحكم في تصريف الحرارة من خلاله. وتتخلص الفيلة من الحرارة بواسطة الحمل والإشعاع والتبخير عن طريق آذانها الضخمة (الشكل ٩٣). وتتغلغل أذن الفيل شعيرات دموية، وعندما تريد الفيلة أن تزيد من فقدها للحرارة ترش أذانها بالماء وتقوم برفرفتها. هل نضيف للمباني عناصر كبيرة يمكن أن ترفرف وأن تتخلص من الحرارة بالتبخير كما هي أذان الفيل؟ لما لا – فقط كن حذراً عند طرح الفكرة على عميل.

وضع المهندس سلمان كريغ حلاً مبتكراً لتبريد المباني باستخدام منهجية حل المشاكل المعروفة باسم بيو تيريز، وهي منهجية مشتقة من نظرية تيريز (تيريز مختصر لمصطلح روسي يعني نظرية الابتكار في حل المشاكل) طورها المهندس والباحث الأوزبكي جينريك ألتشولر (١٩٢٦ – ٩٨). يمكن تعريف أي مشكلة عن طريق التعرف إلى نقيضها "أنا أريد (أ) مثلاً ولكن نقيضه (ب)»، وهذا شبيه جداً برأي الفيلسوف الألماني هيغل حين اختصر التحدي ووصفه بأنه واحد من ثلاث: بناء فرضية، أو نقض فرضية، أو إعادة تجميع. والحل النهائي وفقاً لمصطلحات هيغل هو الجمع بين الشيء ونقيضه. راجع ألتشولر ألاف من الاختراعات واستخرج منها ٤٠ أساساً للحلول الإبداعية، وكل واحد من تلك الأسس قابل للتجميع وفقاً لتعريف هيغل. ومنذ أن طور ألتشولر نظرية تيريز تلقاها الطلاب السوفييت في المدارس جميعاً، حتى أن كثيراً من الناس اعتبروا ذلك أحد أسباب التفوق السوفيتي في مجال الابتكارات إبان سباق الفضاء مع الولايات المتحدة الأمريكية[٧٠] جوليان فينست وزملاؤه الدكاترة أولقا ونيكولاي بوقاتيريف من جامعة باث أضافوا إلى عمل ألتشولر وقاموا بفحص ٢٥٠٠ مثال عن كيفية حل المشاكل في الطبيعة وخلصوا إلى منظومة أخرى من حلول إبداعية[٧١]. لنعد الآن إلى سلمان كريغ فقد عرف المشكلة ونقيضها، فالمشكلة هي سطح مطلوب حمايته من الشمس والنقيض أن يسمح بتسريب الحرارة في الليل عن طريق انبعاث الأشعة تحت الحمراء (ذات الموجات الطولية). في حين أن التقنية التقليدية غالباً ستقترح حلاً ينطلق نحو التعامل مع الطاقة بطريقة أو بأخرى (مثل: تكييف الهواء)؛ نجد أن طريقة بيو تيريز تستنتج أن الطبيعة حلت المشكلة بمنهجية التجميع وتقترح حلاً في اتجاه تعديل هيكل المبنى. وأدى هذا التوجه إلى التفكير نحو إضافة طبقة حماية فوق السطح الخرساني تمنع وصول الإشعاع الشمسي إليه، وفي الوقت نفسه تسمح تلك الطبقة بتسريب الإشعاع طويل الموجات من خلال توجيهه نحو فتحات شفافة (الشكل ٩٤). وأثبتت الاختبارات إمكانية خفض درجة حرارة السطح إلى ما يقارب١٢ درجة سيلسيس عن محيطه القريب بالاعتماد كلياً على طرق التصميم السالبة. إن السطح الخرساني يتصرف وكأنه خزان حراري، ومن ثم فإن أي أثر تبريدي عليه خلال النهار ستستفيد منه أيضاً الغرف الواقعة تحته مباشرة. ويتوقع كريغ أن السطح الخرساني بتصميمه المحاكي للطبيعة سيحافظ على متوسط ٤,٥ درجات سلسيس أقل من السطح الخرساني الاعتيادي في مناخ شبيه بمناخ مدينة الرياض بالمملكة العربية السعودية.

* طائر يعيش في الغابات الاستوائية المطيرة.

حالة دراسية

النمل الأبيض ذو البوصلة ومشروع مركز بوابة الشرق:

يبني النمل الأبيض مسكنه على شكل تلال عالية (الشكل ٩٥) ولو قارنا الشيء بالشيء نسبياً؛ فإن ناطحات السحاب التي بناها الإنسان ستبدو ضئيلةً أمام تلال النمل الأبيض، أضف إلى ذلك أن النمل الأبيض يبني بيته بطريقة خالية من النفايات (صفر النفايات)، ويستخدم الطاقة الشمسية في تبريد الهواء، وفوق ذلك يتباهى بزراعة مستدامة. ويختلف شكل التلال بحسب موقعها. في مناطق سافانا الحارة الجافة تبني الأنواع الإفريقية من النمل الأبيض- واسمها العلمي (Macrotermes bellicosus)- بيوتها على شكل أبراج متعددة مثل الكاتدرائية، أما في الغابات الباردة فتتخذ التلال أشكالاً مقببة وارتفاعاً أقل. عالمة الأحياء المعاصرة جوديث كورب وعالم الحشرات في الستينات الميلادية مارتن لوشر استنتجا أن النمل الأبيض يبني تلاله مستخدماً أنظمة متطورة في التحكم البيئي الداخلي لتوفير أفضل ظروف لملكة النمل الأبيض كي تطرح بيضها وتوفير درجات حرارة مثالية لزراعة الفطريات.

من وجهة نظر معمارية، ربما أن أبلغ مثال يقع في غرب أستراليا حيث التلال المبنية بواسطة النمل الأبيض ذي البوصلة واسمه العلمي (Amitermes meridionalis). تبدو تلال النمل الأبيض ذي البوصلة في المسقط الأفقي مستوية على شكل لوزة ومحورها الطولي متطابق تماماً مع محور الشمال- الجنوب. السفوح الجانبية للتل طويلة ومستوية ذات مسطحات كبيرة تمتص الإشعاع الشمسي الواقع عليها. وبعد ليلة باردة، تستقبل السفوح الشرقية أشعة الشمس الدافئة في الصباح وحين ترتفع الشمس عند الزوال تكون المسطحات المواجهة للشمس أقل ما يمكن. ويتحكم النمل الأبيض في أنابيب التهوية الموزعة على جدران التل؛ فإذا ارتفعت درجات الحرارة داخل التل، فتحت تجاويف التهوية وصعد الهواء الساخن بفعل تأثير المدخنة ساحباً خلفه هواءً يأتي من خلال قنوات في المستوى الأرضي، وبذلك يتم تلطيف الفراغ الداخلي للتل بفضل ثبات درجة حرارة الأرض في الطبقة السفلية من التل. هناك أيضاً قنوات تمتد لتصل إلى المياه الجوفية، وعندما يشتد الحر يقوم النمل الأبيض بحمل قطع من أوراق النباتات وتبليلها بقطرات من المياه ثم نشرها على الحوائط الداخلية للتل لتحسين عملية التبريد بالتبخير. ذكر بعض المعلقين أن درجة حرارة الغرفة الملكية تظل في حدود ٣١ درجة سلسيس- تزيد أو تنقص بفارق درجة واحدة- في حين أن الفارق بين درجتي الليل والنهار كبير ويصل إلى ٣٩ درجة سيلسيس[٧٢] على كل حال، هناك بحوث حديثة وضعت تلك النتائج مثار تساؤل واستفهام وسنعود إلى استعراضها لاحقاً.

وكانت تلال النمل الأبيض مصدر إلهام للمعماري ميك بيرس في تصميمه لمركز بوابة الشرق في هراري بزيمبابوي (الشكل ٩٦)، وعاونه في ذلك مهندسون من شركة أروب واكتمل المشروع في ١٩٩٦. وفر هذا المجمع التجاري الإداري ظروفاً ثابتة طول أيام السنة بدون أي حاجة لتكييف أو تدفئة الهواء بالطرق المعاصرة واستخدم ١٠ ٪ فقط من الطاقة المستهلكة في مثيله من المباني التي تصمم بالطرق العادية. درس بيرس تلال نوعين من النمل الأبيض- وهما علمياً (M. Michaelseni) و (M. Subhyalinus)- وكلا النوعين يستخدمان تقنيات مزدوجة تستفيد من ثبات درجات حرارة الأرض والتهوية الطبيعية بتأثير الرياح بوصفهما أساسين لتحقيق الاتزان الحراري.

شيد المبنى من حوائط سميكة وركبت به وسائل تظليل تقلل من تأثير الشمس عليه. كما هو الحال مع النمل الأبيض حين يبني في مواقع عدة ويتأقلم مع كل موقع، فإن درجة حرارة الليل تهبط بشكل كبير في هراري ويبرد الهواء، عندئذ تقوم مراوح موزعة بين الدورين الأول والثاني في المبنى بسحب هواء الليل البارد وتوزيعه على فراغات كبيرة بمساحة دور كامل تحتوي على تجاويف من عناصر خرسانية مسبقة الصنع بغرض زيادة مساحة مسطحاتها ومن ثم زيادة معدلات الانتقال الحراري. ينشط نظام التهوية الطبيعية خلال النهار فيساعد ذلك على سحب الهواء البارد المخزن ليلاً في الفراغ الكبير في دور كامل فيصعد عبر الفراغ المكتبي من خلال فتحات مشبكة. يوجه الهواء الدافئ من باطن السقف، على سبيل التحديد الهواء المحيط بوحدات الإضاءة، ويدفع به عبر ٤٨ مدخنة هوائية مبنية. في اليوم الذي تكون فيه الرياح هادئة تكون الرياح في أعلى المداخن أسرع من الرياح في المستوى الأرضي، وهذا الفرق بين السرعتين بجانب الصعود الطبيعي للهواء الساخن باتجاه الأعلى يحرك الهواء بصفة مستمرة إلى أعلى المبنى. ومع ذلك وزعت مراوح بسرعات منخفضة تعمل احتياطياً للتأكد من أن حركة سريان الهواء تعمل بشكل دائم في المبنى. وفي حين أن درجات الحرارة الخارجية تتراوح بين ٥ و ٣٣ درجة سلسيس؛ ظلت درجة الحرارة داخل المبنى في حدود ٢١ إلى ٢٥ درجة سلسيس.



٩٦



٩٥

٩٥. تلال النمل الأبيض ذي البوصلة- بناء خالٍ من النفايات (صفر النفايات) وتكييف يعمل بطاقة الشمس.

٩٦. مركز بوابة الشرق من تصميم المعماري ميك بيرس- مبنى استلهم تصميمه من تلال النمل الأبيض ويوفر ظروفاً مريحة وهو قريب من خط الاستواء ويعمل بدون تبريد ميكانيكي.

أعمال حديثة ذات علاقة بتلال النمل الأبيض:

أجرى روبرت سور و جي سكوت تورنر بحوثاً حديثة وتفصيلية أثارت الشكوك حول ما قيل سابقاً عن طريقة عمل تلال النمل الأبيض. استنتج سور أن درجة الحرارة الداخلية ليست ثابتة كما كان الظن من قبل، وأن أساس التوازن الحراري هو الأرض وليست التهوية الناجمة عن حركة الرياح أو التبريد بالتبخير. وأثبتت أبحاث سور أن تلال النمل الأبيض تستغل طاقة الرياح بطرق أكثر تعقيداً من مجرد التهوية الناجمة عن تأثير المدخنة والتهوية الناجمة عن حركة الرياح. وأكد سور وتورنر أن منظومة تجاويف التل تعمل بصورة قريبة إلى عمل الرئتين في تبادل الغازات. يبدو أن الأمر ليس بالبساطة التي كنا نظن في أن تدفق الهواء أحادي الاتجاه داخل التلال، في الحقيقة إن حركة الهواء أقرب إلى أن تكون واحدة من حركات المد والجزر ويندفع الهواء بتأثير تحكم متقن في الفارق بين ضغوط الرياح وفي ترددها.

هل يعني هذا أن أي إستراتيجيات معمارية تم تطويرها سابقاً -ولكن من خلال فهم غير كامل لطريقة عمل تلال النمل الأبيض- هي إستراتجيات أقرب إلى كونها خرافة بيئية من كونها محاكاة للطبيعة؟ لا أعتقد أنه يجب القلق بدون مبرر على هذا التصنيف طالما أن الإستراتيجيات تعمل بشكل مناسب وطالما أننا نبذل من الجهد ما يكفي للاستفادة من المعرفة في مجال علم الأحياء وتوظيفها لتطوير إستراتيجيات تعمل مستقبلاً بشكل أفضل[٧٣] ما زال أمام الدراسات التي تجرى على تلال النمل الأبيض شوط إضافي قبل أن تصل إلى نتائج

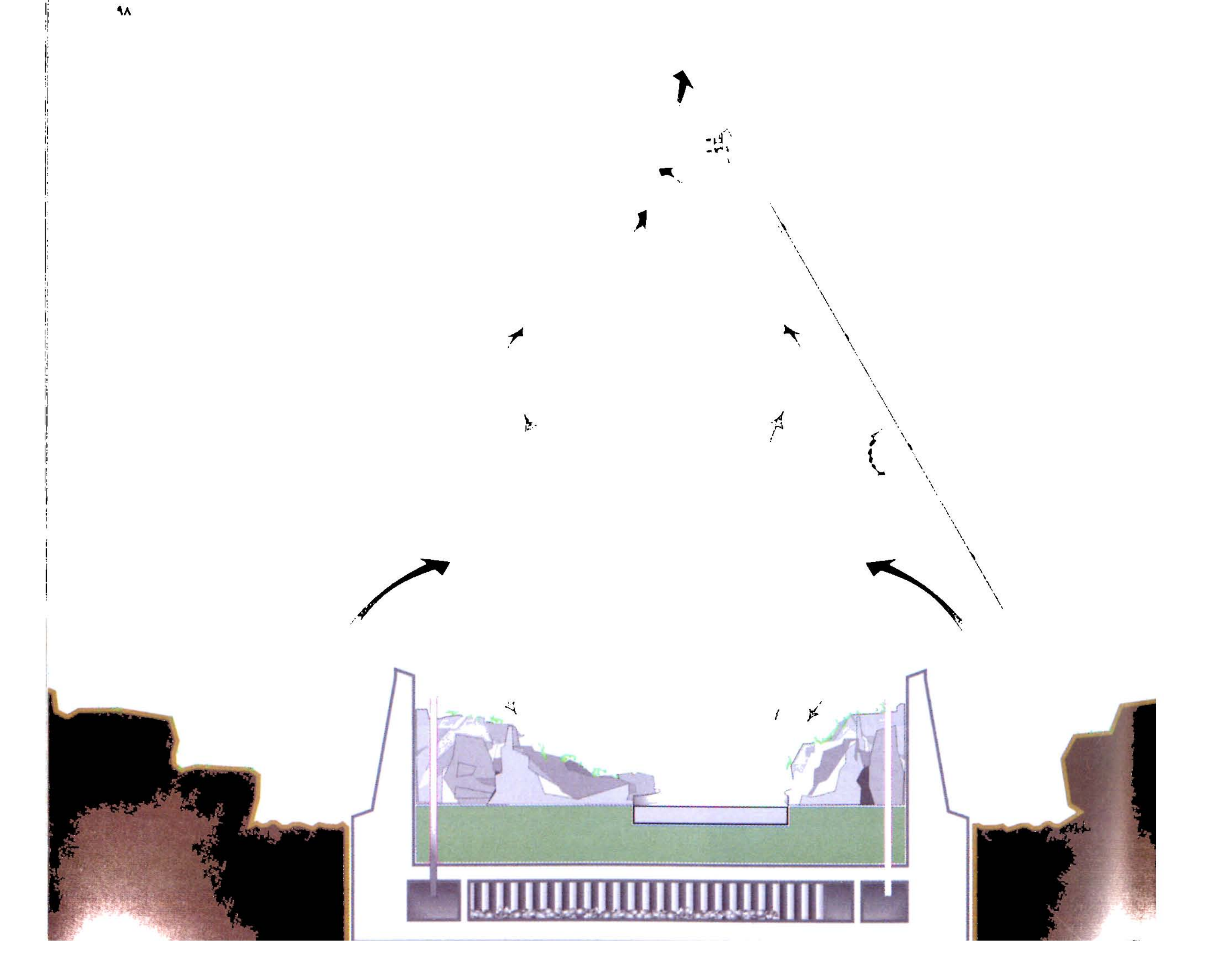


نهائية وأكيدة عن أفضل طريقة لترجمة تلك الدروس إلى حلول معمارية. من الممكن جداً أن نكتشف أن بعض تلك الحلول تعمل بنجاح على مقياس تلال النمل الأبيض ولكنها ليس بالضرورة أن تكون كذلك على مقياس المباني من صنع الإنسان.

أحد المشاريع التي نجحت بكل تأكيد هو مشروع بيت ديفيس لنباتات جبال الألب في حدائق كيو (الشكل ٩٧ والشكل ٩٨) من تصميم المعماري ويلكنسون إير والمهندس البيئي وخبير تلال النمل الأبيض باتريك بيلو من "المرسم العاشر" إن من المألوف عرض مجموعة من نباتات جبال الألب على أرفف مبردة أو فراغ مكيف بالكامل، ولكن العميل طلب من الفريق عملاً أكثر إبداعاً. لذلك صمم المبنى به تجاويف حرارية تبدو للوهلة الأولى أنها مجرد قبو على شكل شبكة من الجدران لتوفير كتلة حرارية تسمح بدخول الهواء البارد ليلاً وتخزينه، ثم يستفاد منه نهاراً بسحبه وتوزيعه على المناطق المخصصة لنمو النباتات. يطلق على هذه الطريقة أحياناً «فصل الكتلة الحرارية» -وهذه الطريقة تختلف عن الطرق العادية التي تكشف الحوائط السميكة في المباني (أو بمعنى آخر تنتهج طريقة "دمج الكتلة الحرارية") - ويتم تبريد الكتلة

٩٧. مشروع بيت ديفيس لنباتات جبال الألب في حدائق كيو من تصميم المعماري ويلكنسون إير و"المرسم العاشر" أفكار من تلال النمل الأبيض تم توظيفها لتبريد المنطقة الخاصة بعرض مجموعة نباتات جبال الألب.

٩٨. قطاع يمر في مشروع بيت ديفيس لنباتات جبال الألب يوضح نظام التجاويف الحرارية في أسفل المبنى والمستوحاة من تلال النمل الأبيض.



الحرارية بمعدلات أقل من درجة الحرارة المطلوبة في الفراغات المخدومة. تسمح طريقة «فصل الكتلة الحرارية» بالتحكم التام بالطريقة نفسها التي يتحكم بها النمل الأبيض في فتح أنابيب التل وغلقها للتحكم في درجة الحرارة، ويمكن التحكم في تدفق البرودة بحسب الاحتياج وبالمجان. ويحتوي بيت ديفيس لنباتات جبال الألب أيضاً على مظلات شمسية ذاتية الانتشار للتحكم في حرارة الشمس. ونجح النظام في توفير ظروف ملائمة للنباتات، ولم يستهلك سوى الحد الأدنى من الطاقة الذي يكفي لتشغيل المراوح. ولم تتجاوز فترة استرداد تكلفة المشروع عن تسع سنوات بحساب تكاليف نظام التجاويف الحرارية ومقارنتها بالطريقة العادية في التبريد، وربما تكون فترة الاسترداد أقصر من ذلك إذا أخذ في الحسبان ارتفاع أسعار الطاقة بوتيرة أسرع مما كان متوقعاً.

تثبيت درجات الحرارة

كما رأينا في تلال النمل الأبيض فإن استخدام إستراتيجية تخزين الحرارة بكل أشكالها هي إستراتيجية فعالة في المناطق التي تشهد تأرجح كبير في الفارق بين درجات الحرارة. لقد كان مناسباً تصنيف موضوع تلال النمل الأبيض تحت أي من العنوانين: «البقاء دافئاً» أو «البقاء بارداً»، ولكني فضلت الحديث عنه بوصفه موضوعاً مستقلاً نظراً لأهميته. هل هناك أمثلة أخرى لم نسلط عليها الضوء؟ نعم هناك نبات شبيه الحجر أو ما يعرف علمياً باسم (Lithops) (الشكل ٩٩) وهو نبات يعيش في الصحراء ولكنه مغمور ليس بسبب مظهره الخارجي فقط (يظهر بضع ميلليمترات على وجه التربة)، بل أيضاً لا أحد يكاد يعرفه في مجتمع المصممين. معظم هذه النبتة غاطس في التربة



٩٩

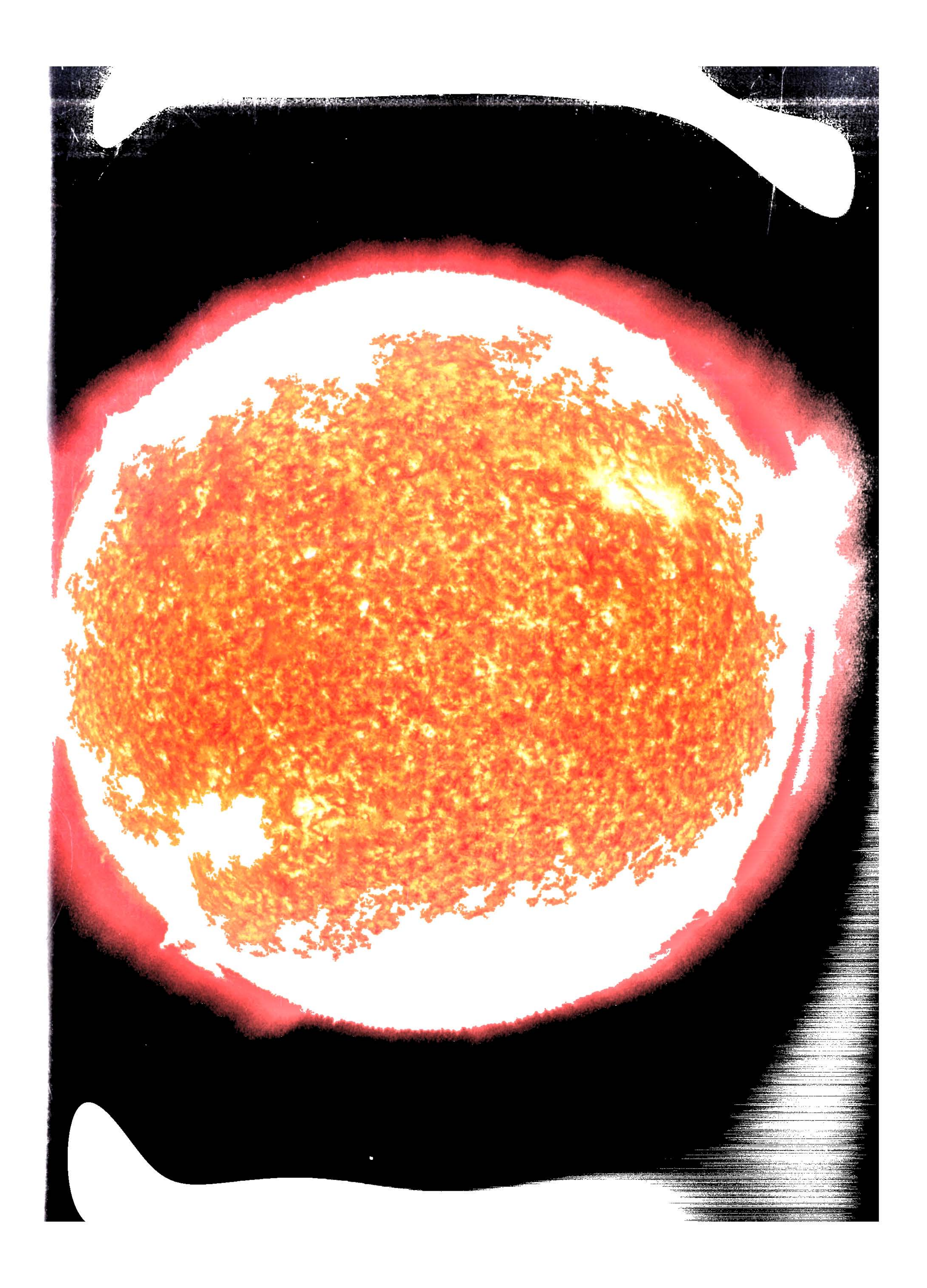
ويستفيد من ثبات درجة الحرارة أسفل التربة، في حين يبرز جزء شفاف من النبتة فوق التربة لكي يسمح بعبور الضوء إلى أنسجة التمثيل الضوئي الموجودة في "القبو" إذا صح التقريب. تنخفض درجات الحرارة في الصحراء لما دون التجمد في الليل وترتفع لتصل إلى ٥٠ درجة سلسيس خلال النهار، ولذلك فإن أي محاولة لتثبيت درجات الحرارة ستكون فعالة جداً. ويستطيع المبنى المشيد في الصحراء والذي يحاكي نبات شبيه الحجر مع إضافة مظلات شمسية؛ أن يوفر درجات حرارة داخلية مريحة وبدون استهلاك إضافي للطاقة.

نتائج بخصوص التحكم بالبيئة الحرارية

فيما يخص موضوع التحكم الحراري؛ فإني أزعم أننا خسرنا كثيراً من ذكاء التحكم الحراري المدون في ذاكرة التاريخ، إلا أننا نستطيع أن نبذل مجهوداً أكبر لنتعلم من البيئة. إنه ضرب من الإبداع أن يتمكن الفُرس الأوائل من فن صناعة الثلج، إنه حل طوره العقل البشري قبل عصر الوقود الأحفوري، وهذا ما نريد إيقاظه مرة أخرى. حتى الآن لم نأخذ من الطبيعة سوى حلول محدودة ولكنها حلول واعدة: نظام السطح ذو الفقاعات العازلة الذي حقق عاملاً قيمته ١٠ على معيار توفير الطاقة، والسطح ذاتي التبريد المطور باستخدام نظرية بيو تريز، ومركز بوابة الشرق الذي استوحى تصميمه من النمل الأبيض وحافظ على برودته على الرغم من موقعه بالقرب من خط الاستواء بدون استخدام أنظمة تكييف للهواء — كل تلك الأمثلة توضح أن هناك إمكانيات جديدة قادمة وستحدث تغييراً جذرياً.

سنرى غالباً الغلاف الخارجي للمبنى يتطور إلى غلاف أكثر تعقيداً ويقترب أكثر لمحاكاة الكائنات الحية. وكما قال روبرت سور إن الاتجاه الذي يجب أن نسير فيه هو "نحو مبان تتوسع ككائنات وتنصهر فيها الوظيفة مع النظام الإنشائي ويتحكم بها الحاجة الملحة لتحقيق التوازن" [٧٤]

٩٩. نبات شبيه الحجر تأقلم على هذا النحو ليقاوم الفروقات الكبيرة في درجات الحرارة بين الليل والنهار باستغلال الدرجة الثابتة للأرض.



كيف ننتج طاقة المباني؟

يميل البشر إلى حل المشاكل قبل أن تقع، في حين تميل الكائنات الحية من خلال تأقلمها وتطورها إلى تغيير المشكلة بالكامل قبل حلها، والدليل الأكثر وضوحاً لإثبات ذلك هو مجال الطاقة. مضينا نواجه احتياجاتنا من الطاقة عن طريق توفير المزيد تلو المزيد منها بدلاً من التفكير في ترشيد استهلاكها، كما هو الحال في الطبيعة تماماً.

توفير الطاقة هو من أكبر التحديات التي تواجهنا؛ لأسباب تعود إلى تزايد الحقائق الدامغة عن التغير المناخي من جهة ومن جهة أخرى فشل التخطيط الاستراتيجي. إن من الأهمية بمكان وضع خطة لتقليص اعتماد الاقتصاد على الكربون على مدى العقود القادمة وفهم تأثير ذلك على تصميم المباني والمدن. هذا الفصل أقل ارتباطاً بالمباني مقارنة بالفصول السابقة، ولكنه يناقش فكرة أن تطبيق مبادئ محاكاة الطبيعة في تخطيط الطاقة سيقود حتماً إلى مفهوم "الاقتصاد الشمسي" وأن ذلك سيؤثر تأثيراً مهماً على المعماريين، والمصممين الحضريين. أقصد بـ "الاقتصاد الشمسي" ذلك الاقتصاد الذي يلبي احتياجاتنا من الطاقة عن طريق كل أشكال الطاقة المتجددة. أعتقد جازماً أن هذا التحول مهم للغاية. وإذا استمرينا في الحديث عن الطاقة داخل المباني دون أن ندرك من أين جاءت الطاقة؛ سنفقد جزءاً مهماً تستطيع محاكاة الطبيعة أن تقدمه لنا، وسنفقد أيضاً الجزء الأهم وهو التحول الكبير نحو العهد البيئي.

أغلب الأفكار التي ظهرت في الفصول السابقة عن النفايات والتفكير بأسلوب الأنظمة البيئية مرتبط بموضوع النقاش في هذا الفصل. ذكرنا في الفصل الرابع مقارنة بين أنظمة من صنع الانسان وأنظمة من صنع الطبيعة، ونقترح هنا أسساً أربعة لأي حل يحاكي الطبيعة في إنتاج الطاقة:

- تقليل الطلب من خلال زيادة الفعالية أولاً.
- مصدر طاقة مستمر إلى أجل غير مسمى.
- المرونة من خلال التنوع وشبكات التوزيع.
- تدفق مواد خالية من السموم ومتوافقة مع نطاق عريض من أنظمة أخرى.

تقليص الطلب هو أول خطوة باتجاه الاقتصاد الشمسي وهو الأكثر ارتباطاً بتصميم المباني؛ لأنه يقوي الاستمرار في إيجاد حلول إبداعية للتعامل مع الموارد كما رأينا ذلك في فصول سابقة. أما الأسس الثلاثة المتبقية فهي ذات علاقة بمشاريع على مقياس أكبر مثل التخطيط الشامل والتصميم الحضري؛ لأنها تتعامل مع أنواع من التقنيات المناسبة وتهتم بطرق تكاملها، وسنتناول ذلك بشيء من التفصيل في الصفحات التالية.

١٠٠. يأتي من الشمس طاقة سنوية تقدر بـ ١٠,٠٠٠ أضعاف الاستهلاك السنوي للطاقة.

تقليل الطلب:

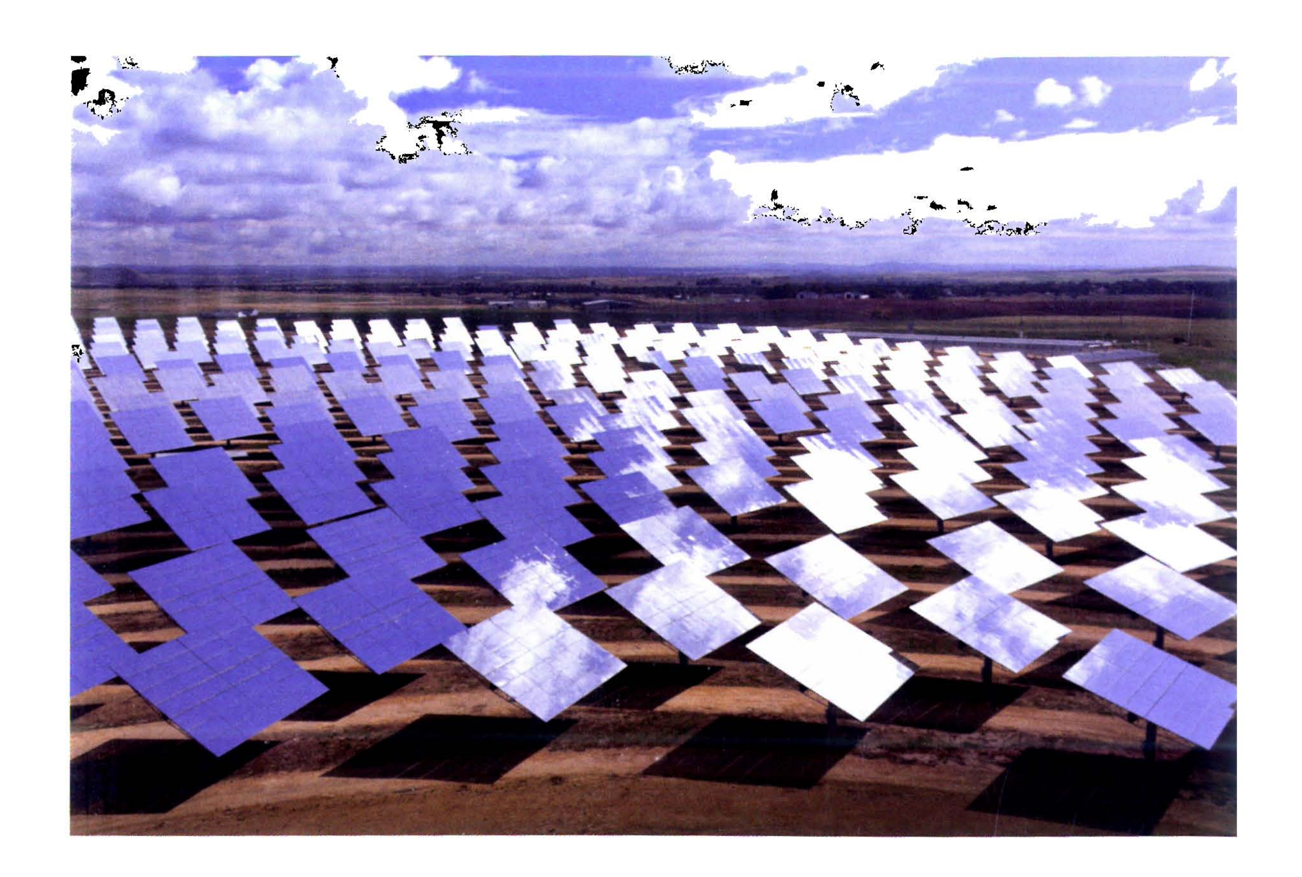
تقليل الطلب هو أحد المجالات التي يمكن المساهمة فيها بشكل كبير من خلال الحلول المبدعة التي تحاكي الطبيعة. لقد رأينا أمثلة كثيرة حققت معامل ١٠ ومعامل ١٠٠ على مقياس التوفير في استهلاك الموارد – تحقيق الوظيفة نفسها ولكن باستهلاك جزء يسير من الموارد. وأصدرت شركة ماكينزي للاستشارات الدولية دراسة مشهورة بعنوان "منحنيات التكلفة لخفض غازات الاحتباس الحراري" ذكرت أن أسهل وأكبر خفض لانبعاث غازات الاحتباس الحراري يوجد في البيئة المبنية. وهذا ينطبق سواء سعينا نحو مستقبل نووي أو مستقبل يعتمد على الطاقة الشمسية؛ لأن معظم أنماط تحسين كفاءة الطاقة أقل كلفة من إضافة قدرة توليد جديدة للطاقة. ويتضح من الدراسة أعلاه أن أرخص وأسرع طريقة لخفض انبعاث غازات الاحتباس الحراري هي في تغيير أداء المبنى ونمط استهلاكه للطاقة، يلي ذلك خطوة أخرى وهي توفير الاحتياج المتبقي للطاقة من خلال مصادر منخفضة أو عديمة (صفرية) الكربون.

ما حدود توفير الطاقة التي يمكن واقعياً تحقيقها؟ أثبت ديفيد ماكاي كيف أننا باستخدام التقنيات المعاصرة للتوفير مع الأخذ في الحسبان تحقيق مستوى المعيشة نفسه أو ربما مستويات أفضل ولو بصورة مختلف عليها؛ نستطيع تخفيض احتياجنا من الطاقة من ١٢٥ كيلو وات في الساعة في اليوم للشخص الواحد (كيلو وات ساعة/يوم/شخص) للمواطن الأوربي المتوسط إلى ٦٨ كيلو وات ساعة/يوم/شخص[٧٥]. وتمثل محاكاة الطبيعة فرصة حقيقية للاستمرار في تحقيق مستويات أفضل. إن تصنيع مواد باستهلاك جزء من المائة من الطاقة المستخدمة في صناعة المواد المعاصرة، واستخدامها في تشييد أنظمة بناء عالية الفعالية كالذي عرضناه في الفصل الأول؛ يمكن أن يحقق لنا المستوى المنشود في كفاءة الموارد- كما رأينا من قبل في شبكات العناكب وجماجم الطيور المفردة والإسفنج الزجاجي. وعلى المنوال نفسه إن استطعنا تدوير الموارد في حلقة مغلقة، وصممنا بطريقة لا تسمح بوجود نفايات أصلاً، وأوجدنا مباني تستخدم الطرق الطبيعية في تحقيق التوازن الحراري؛ عندئذ يمكن أن نحقق تخفيضاً جذرياً لاستهلاك الطاقة. كل هذا الإبداع هو في متناول قدرة البشر. كل وحدة توفير من الطاقة ستجعل من السهل علينا تحقيق الوصول إلى الهدف الأسمى وهو تخليص اقتصادنا من الكربون.

مصدر الطاقة:

لو تأملنا تدفق الطاقة في الطبيعة لوجدنا أن كل الكائنات الحية تستمد طاقتها من الشمس[٧٦]. هل نستطيع أن نفعل الشيء نفسه أي أن نتحول من اقتصاد عالمي قائم على وقود أحفوري إلى اقتصاد شمسي؟ هناك من سيهزأ بهذه الفكرة ولكن حين يعلم كمية الطاقة المتاحة سيعيد النظر مجدداً. يأتي من الشمس طاقة سنوية تعادل تقريباً ١٠,٠٠٠ مرة ما ننتجه على الأرض في الوقت الراهن[٧٧]. هذا المعين الذي لا ينضب من الطاقة أبقى على الحياة فوق الأرض لبلايين السنين، وباستطاعته أن يغذي كل احتياجاتنا[٧٨]. ومن ثم لا يصح الزعم بأن الطاقة النووية هي خيارنا الوحيد [٧٩] بناء محطات الطاقة الشمسية المركزة على مساحة تقارب خمسة بالمائة فقط من صحاري العالم ستكون كافية لسد كل احتياجات العالم من الطاقة[٨٠].

ذاع مصطلح "الاقتصاد الشمسي" عن طريق البيئي الألماني المهندس الميكانيكي هيرمان شير الذي استخدم المصطلح للإشارة إلى اقتصاد قائم على كل أشكال الطاقة المتجددة[٨١]. ويشمل ذلك الطاقة الشمسية المباشرة عن طريق الخلايا الضوئية والطاقة الشمسية المركزة، والطاقة الشمسية غير المباشرة مثل الرياح والأمواج والكتلة الحيوية، والطاقة بتأثير ضئيل من الشمس مثل المد والجزر وطاقة حرارة باطن الارض[٨٢]. طبقت محاكاة الطبيعة في تصميم عدد من تقنيات الطاقة المتجددة وحققت نجاحات مماثلة لتلك النجاحات التي سبق أن رأيناها في تقنيات المباني. فعلى سبيل المثال: شفرات جديدة لمولدات طاقة الرياح صممت من وحي زعانف الحيتان الحدباء (الشكل ١٠٢ و ١٠٤) والتصميم من تطوير عالم الأحياء البحري الدكتور فرانك فيش. وتتوزع بروزات على الجزء الأمامي من زعانف الحيتان بهدف زيادة تأثير الدوامات المائية التي ترفع جسم الحوت وتسمح له بالمناورة عند سرعات بطيئة[٨٣] واستخدم الدكتور فيش تصميم الشفرة الجديدة في مولدات طاقة الرياح ووظف فكرة زعانف الحوت نفسها ولكن في زيادة كفاءة تشغيل مولدات طاقة الرياح عند سرعات بطيئة. السبب الذي زاد من أهمية الفكرة أن كل مولدات طاقة الرياح تعمل في حدود سرعات دنيا ولا تعمل في سرعات أقل منها إلا إذا زادت سرعة الرياح بمعدلات كافية لإعادة تشغيل المولدات. تذكر شركة «طاقة الحوت" المنتجة للشفرات أن شفراتها الجديدة



تحسن الأداء بمعدل أعلى يساوي ٢٠٪ خلال السنة وأن الصوت الناتج من التشغيل أكثر هدوءاً (الشكل ١٠٣). ويمكن أن تساهم حلول أخرى في علاج المشكلة العكسية—زيادة سرعة الرياح حين تهب الأعاصير تتسبب في تعطيل تشغيل المولدات أتوماتيكياً حتى لا تتعرض إلى الضرر. عدد من أوراق النباتات مثلاً تغير اتجاهها أو تلف نفسها عند هبوب رياح قوية لتخفيف ضغط الرياح على جذع الشجرة [٨٤] لو أن شفرات مولدات طاقة الرياح صممت لتنثني إما بشكل طولي وإما عرضي تحت تأثير قوة الرياح؛ عندها ستكون الشفرات أقل مقاومة للرياح[٨٥]. ويعني هذا بكل وضوح أنه يمكن توليد مقدار ضئيل من الطاقة عندما تهب رياح عاتية، ولكن الميزة الأهم من ذلك هي استمرار المولدات في العمل تحت تلك الظروف. هذا يوضح فرقاً مهماً بين الكائنات الحية والهندسة (الأول يستجيب للبيئة والثاني لايستجيب أبداً) ويوضح أيضاً إلى أي مدى تكمن الفائدة في اتباع أمثلة من البيئة.

١٠١. تستخدم الطاقة الشمسية المركزة مرايا متحركة تتبع الشمس لزيادة تركيز حرارتها وتشغيل مولدات بخار تنتج الكهرباء.

١٠٢. الحيتان الحدباء لديها كتل (درنات) في مقدمة زعانفها بهدف زيادة تأثير الدوامات المائية التي ترفع جسم الحوت وتسمح له بالمناورة عند سرعات بطيئة.

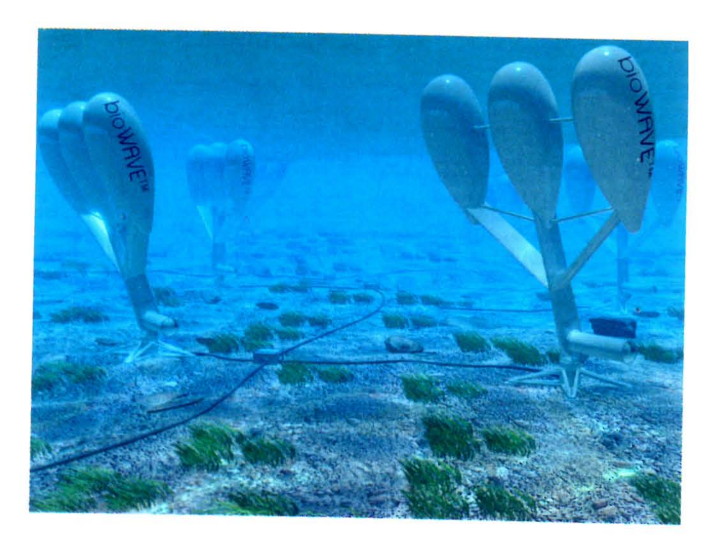
١٠٣. «الموج الحيوي» مولد طاقة بحري مستلهم من تمايل حركة أنواع من الأعشاب البحرية في أمواج المحيط.

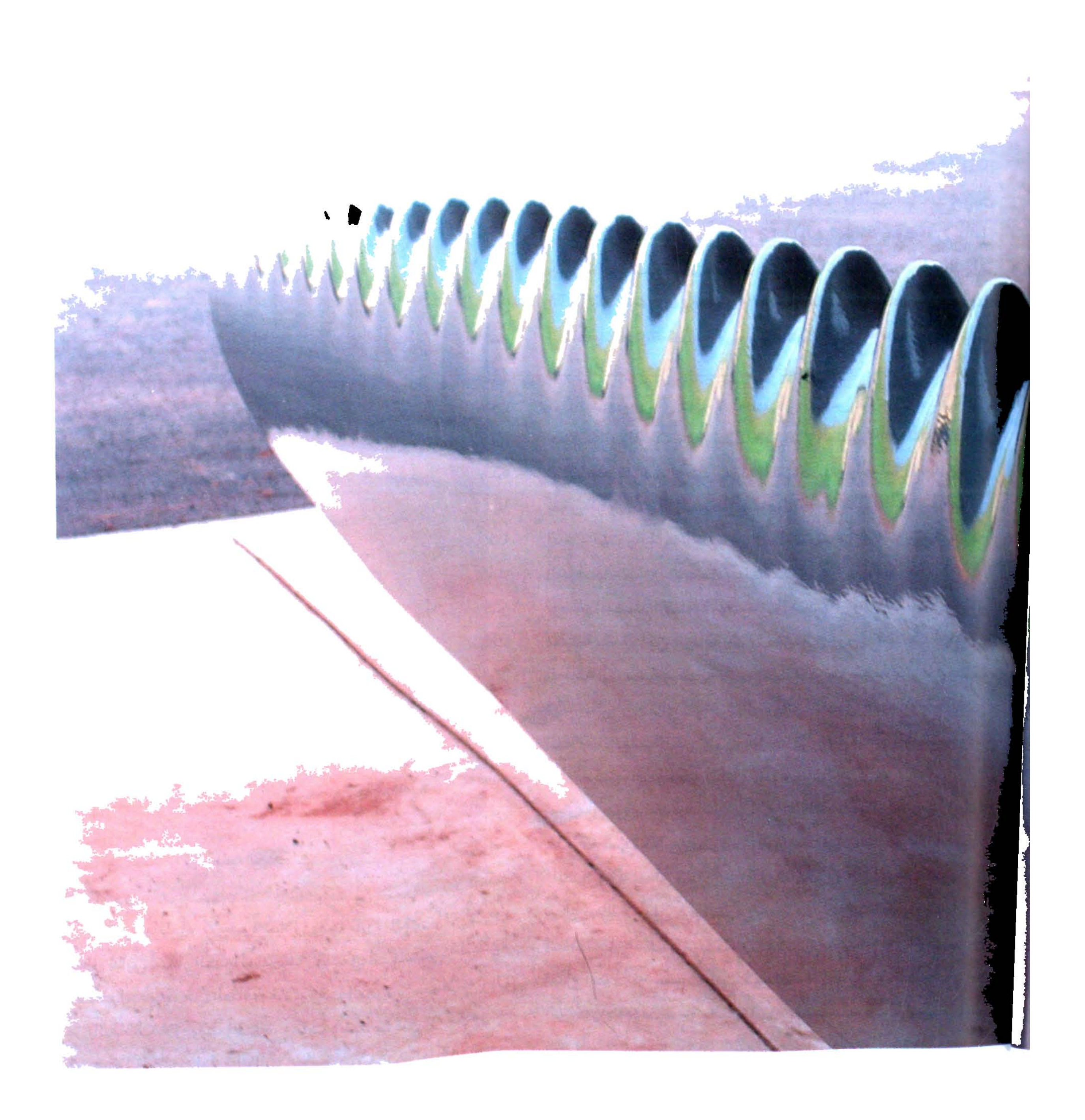
١٠٤. شفرات جديدة لمولدات طاقة الرياح صممت من وحي زعانف الحيتان الحدباء لتوليد طاقة حتى في سرعات بطيئة للرياح.



١٠٤







المرونة:

المرونة هي قدرة النظام على البقاء حياً في وجه الاضطرابات. واستطاع كثير من الكائنات الحية الصمود في وجه المخاطر من خلال شبكة نظم بيئية معقدة ومتداخلة وبدرجة عالية من التنوع. وحتى نترجم ذلك إلى نقاش حول احتياجات الإنسان من الطاقة؛ فإن الأمر يتطلب وجود نظام مرن لديه قدرة على توفير كميات الطاقة المطلوبة من مصادر توليد ذات أشكال متنوعة ومتداخلة مع بعضها. ويتطلب النظام أيضاً القدرة على تخزين الطاقة بكميات تدعم تأرجح الإنتاج الملازم لمصادر الطاقة.

يبدأ الاقتصاد الشمسي بالاستفادة من التدفق المستمر لوحدات الكم الضوئي من الشمس والمعروفة أيضاً باسم الفوتونات، وبذلك فإن التأرجح في توفير الطاقة مقيد ومحدود. وهناك حتماً تقلبات كبيرة في الإشعاع الشمسي المباشر بين الليل والنهار، وتنوع في أشكال توليد الطاقة (طاقة الرياح على سبيل المثال)، وتباين موسمي بين شدة الصيف والشتاء. كل هذه التقلبات مرت على الكائنات الحية واستطاعت أن تتأقلم معها وأن تخزن الطاقة بشكل أو بآخر. ويكون تخزين الطاقة غالباً في أشكال صلبة مثل السكر في حالة الدرنيات مثلاً أو الترسبات الدهنية في أنسجة جسم الحيوانات. وتعد البطاريات من أكثر الحلول الهندسية شيوعاً بوصفها أسلوباً لتخزين الطاقة وكذلك مضخات تخزين الطاقة (التي تضخ المياه من بحيرة عند مستوى منخفض إلى مستوى مرتفع وعند الحاجة إلى إمدادات طاقة إضافية يتم تحرير الماء من خلال مولدات). الطريقة الأخرى التي تستطيع الطبيعة من خلالها التغلب على التباين في إمدادات الطاقة؛ هي بكل بساطة القيام بأعمال إضافية كالنمو أو التأيض عندما تتوفر الطاقة اللازمة لذلك أو العكس عندما لا تتوفر الطاقة. ونستطيع القيام بالأسلوب نفسه عن طريق أنظمة تحكم ذكية تقوم بإطفاء الأجهزة خلال وقت ندرة الكهرباء، أو من خلال تباين أسعار الكهرباء لتحفيز الصناعات المستهلكة للطاقة لاستخدام مزيد من الطاقة خلال وقت الوفرة واستهلاك قليل من الطاقة خلال وقت الندرة. وأثبت ديفيد ماكاي أن مجموعة من هذه التدابير- إدارة الطلب ومضخات تخزين الطاقة وتوفير بطاريات من خلال سيارات كهربائية ثابتة (بفرضية أن أغلب وسائل النقل كهربائية)- ستكون كافية للتعامل مع تقلبات توفير الطاقة التي ربما تصاحب الاقتصاد الشمسي.

معظم شبكاتنا الكهربائية الحالية يستخدم تياراً متردداً عالي الجهد (HVAC) وهو غير فعال بسبب أن سبعة إلى تسعة بالمائة من الطاقة يتم فقدانها خلال عملية النقل. ويتزايد الربط الكهربائي بين الدول عن طريق تيار ثابت عالي الجهد (HVDC) والفاقد هنا لا يتجاوز ثلاثة بالمائة لكل ١٠٠٠ كم. هذا الأمر يجعل نقل الطاقة ممكناً من محطات توليد الطاقة الشمسية في شمال إفريقيا إلى المملكة المتحدة بمعدل فاقد يساوي تقريباً الفاقد في الشبكة الحالية بالمملكة المتحدة ذات التيار المتردد (AC). ميزة الربط الموحد بين مجموعة من الدول ومن خلال شبكة عظمى تعمل بنظام تيار ثابت عالي الجهد (HVDC) هي سهولة التكامل بين أنواع مختلفة من مصادر الطاقة المتجددة، كما أن التنوع في أشكال توليد الطاقة وتخزينها يلبي النقص في أي منهما سواء كان بسبب التوقيت أو الكمية. من البديهي أن أي دولة لا تملك حق تلقائي للتزود بالطاقة على حساب الدولة الأخرى ولذلك فإن من البديهي أن تقوم صناعة الاقتصاد الشمسي على مبدأ المفاوضات والتبادل العادل. إن بعض الدول التي تملك مستويات عالية من الطاقة الشمسية ليست الأكثر استقراراً، وقد يتوجس الناس خيفة من الآثار الجغرافية- السياسية لقرار الاعتماد على هذه الدول مضطربة الأوضاع بوصفها مصدراً للطاقة. ومن المفارقات، أن ما يراه بعض الناس مشكلة في تخزين الطاقة قد يتحول إلى ميزة عظيمة. إن قيمة الطاقة الشمسية وحقيقة أن من الصعب تخزينها لأكثر من بضعة أيام يعني أن هناك حوافز مالية كبيرة للدول ذات الإنتاج الأكبر للطاقة الشمسية نحو الاستمرار في تزويد الطاقة الشمسية بدلاً من العكس والذي يعني تقليل الحوافز المالية.

إن توفير كميات مناسبة من الطاقة لسكان الأرض البالغ عددهم تسعة بلايين نسمة متوقعين بحلول عام ٢٠٥٠؛ أمر ليس بالسهل، ولا بد أن نقبل أن العبارة المأثورة عن إي إف شوماخر "كل صغير جميل" لها حدود فعندما يكون المقصود هو توليد الطاقة فإن "صغير" هنا دائماً تعني مضيعة المال. وعلينا أن نقبل أيضاً أنه حتى لو *تحسنت* كفاءة الطاقة؛ فسنظل بحاجة إلى كميات ضخمة من الطاقة لتلبية حاجات الأعداد المتزايدة من السكان في الدول النامية، وكما أشار ديفيد ماكاي لذلك من قبل لا بد من توفير زيادة الطلب على الطاقة إما من خلال محطات نووية أو من خلال بناء محطات طاقة شمسية مركزة على مساحات كبيرة من صحاري العالم.

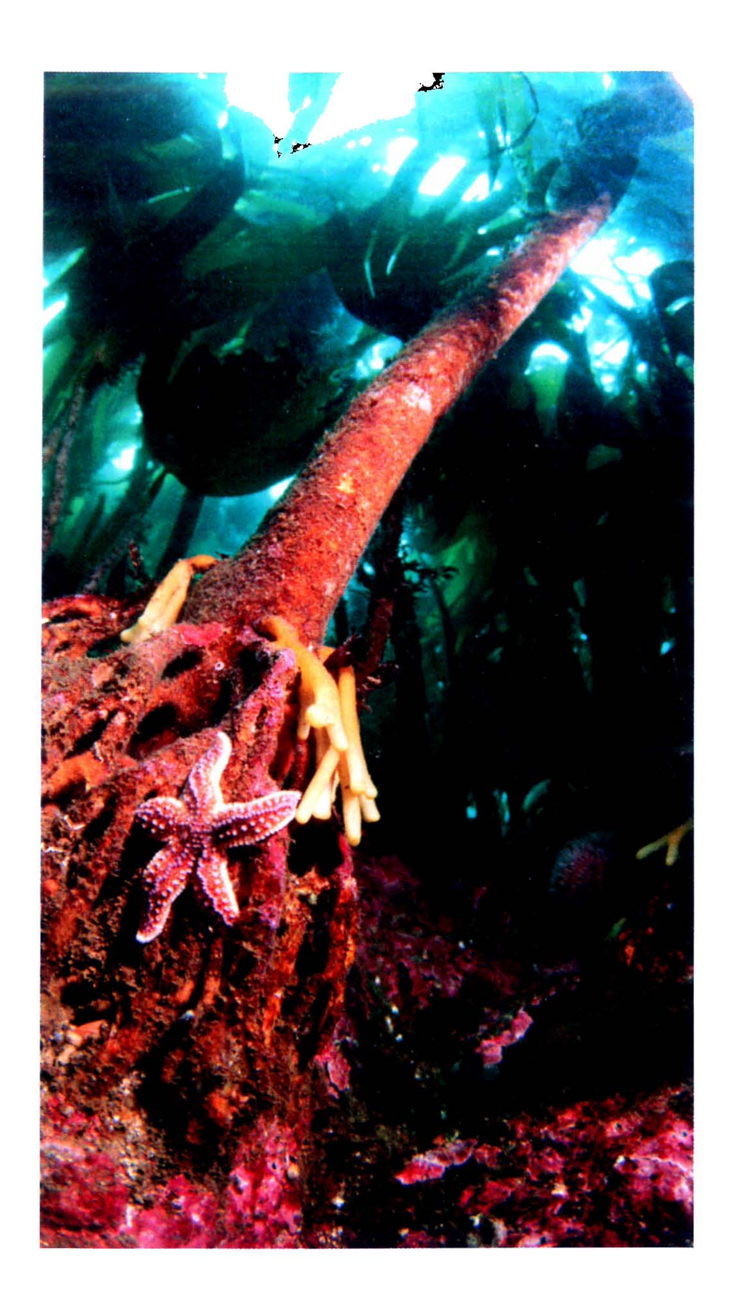
وتركز النقاط الأخيرة في موضوع المرونة على مصدر الطاقة وإلى أي مستوى يتم فيه التركيز أو التوزيع. إن مصادر كل من طاقة الوقود الأحفوري والطاقة النووية تُعَدُّ موضع إشكال دائم، فالمصدر الأول يساهم في خطورة التغير المناخي، أما المصدر الثاني فيعتمد أساساً -وإن لم يكن حصرياً- على اليورانيوم عالي التصنيف الذي يوجد فقط في دول قليلة، وربما يترتب على استخدامه مستقبلاً مخاطر جغرافية-سياسية في حال أصبح الانشطار النووي هو الشكل السائد لتوليد الطاقة. وتتميز الطاقة الذرية بمحطاتها الكبيرة جداً، وهذا النظام المركزي في توليد الطاقة أقل مرونة في أصله من معظم الشبكات الموزعة، فلو وقعت مشكلة واحدة في المحطة الرئيسة فمن المتوقع أن يعطل ذلك جزءاً مهماً من القدرات الإنتاجية على مستوى الدولة.

الأنظمة المتوافقة وتدفق الموارد:

يجب على عناصر أي نظام يحاكي الطبيعة التوافق مع تشكيلة عريضة من أنظمة أخرى سواء أكان من حيث المظهر الفيزيائي أم تدفق الموارد. إن العنصر الذي ينتج سموماً على مدى طويل هو بالتأكيد حالة لا ينطبق عليها شرط التوافق.

وتتدفق الموارد بطريقة مباشرة في كثير من أنظمة الطاقة المتجددة. وفي بعض الحالات تتولد الحرارة عن طريق الشمس أو حرارة باطن الأرض لتشغيل محرك طاقة حرارية، وفي حالات أخرى تشغيل محرك طاقة حركية عن طريق الرياح، أو تشغيل مولدات عن طريق تيارات أو أمواج المحيطات. وتتولد الطاقة بدون أي انبعاث للسموم، وفي كثير من الأحيان ينتج عن تركيب الطاقة المتجددة فوائد مستدامة أخرى.

وخلصت دراسة علمية حديثة إلى أن أساسات أعمدة مولدات طاقة الرياح بالقرب من الشواطئ غدت مأوى جديد للقشريات والنباتات، وهذه بدورها تضاعف أعداد الأسماك [٨٦]. وتحققت هذه الميزة الجانبية بدون قصد أو إرادة، ولكن من الممكن تطويرها بحيث يتضمن تصميم الأساسات فتحات وشقوق وربما أشكال أخرى لتحفيز مستوطنات بيئية على النمو والعيش. إن فكرة إعادة ترميم الحياة البحرية يمكن أن تواصل لمراحل أكثر تقدماً، ولقد عرضنا في الفصل الثاني من هذا الكتاب فكرة الصخور الحيوية وشرحنا كيف ساهمت في



١٠٥. تستطيع أساسات مولدات طاقة الرياح أن تسرع من التنوع البيئي وبذلك يمكن التطوير في اتجاه يسمح ببناء مستوطنات بيئية.

بناء شعب مرجانية صناعية وأثرت إيجابياً في ترميم الحياة البحرية. حينئذ تكون حقول مولدات طاقة الرياح بالقرب من مياه الشواطئ ليست فقط مولدات للطاقة بل أيضاً حاضنة للحياة البحرية الطبيعية.

وتنفرد طاقة المد والجزر بدقة تنبؤ نتائجها؛ لأنها تعتمد على الشمس والقمر في تقدير التوقعات المستقبلية. في حين أن التركيز اليوم على قناطر المد والجزر- عبارة عن سد يعترض مصب المد والجزر- سيكون مستقبلاً منصباً على بحيرات المد والجزر ذات الأثر المحدود على بيئة الشواطئ وهجرة الأسماك والشحن الدولي. وتمنح تقنية بحيرات المد والجزر الميزات نفسها التي وصفناها في الجزء المخصص لجزيرة الطاقة الخضراء: تخزين للطاقة وحماية للشواطئ وتنوع بيئي أكثر.

وستتكاثر بطبيعة الحال حقول الكهرباء الضوئية من الشمس (PV) وحقول الطاقة الشمسية المركزة (CSP) حيث المناطق ذات التركيز الأعلى للإشعاع الشمسي وحيث تتحقق عوائد مجزية. في ظلال لاقطات الشمس يقل الإشعاع الشمسي المباشر على التربة، وهنا فرصة متاحة لزراعة محاصيل لا تنمو في مساحات مجاورة؛ بسبب أنها أكثر عرضة للشمس وبسبب الإجهاد الحراري وقلة المياه. وتستفيد أيضاً حيوانات الرعي من ظلال لاقطات الشمس؛ لأن مسكنها الطبيعي تحت غصون الأشجار وهي أينما حلت تزيد أيضاً من خصوبة التربة. ووجود الخلايا الكهروضوئية على المباني تهيئ الفرصة لأغلفة المباني؛ لأن تتحول تدريجياً إلى ما يشبه عمليات التمثيل الضوئي في النبات- الاستفادة من الطاقة الشمسية بحيث تتحول المباني من مستهلك ثابت للطاقة إلى منتج صاف للموارد النافعة. وفي أبسط تعبير، تمنح تقنيات (PV) و(CSP) فائدتين مزدوجتين وهما الظلال والطاقة.

وما زالت زراعة الطحالب والاستفادة منها بوصفها وقوداً أحيائياً في مراحلها المبكرة، وأغلب التجارب أثبت عدم جدواها الاقتصادية، ولكن الفرصة مواتية لمنتجات ثانوية قيمة تصاحب إنتاج الوقود الأحيائي. وكما تم عرضه في الفصل الثاني من هذا الكتاب؛ يمكن بسهولة استخراج السيلولوز من الطحالب واستخدامه في تصنيع مواد ذات طاقة منخفضة. وقد تكون زراعة الطحالب أيضاً البديل الأفضل لتعويض نقص مواد الغذاء في التربة، عن طريق استخلاص معادن من مياه البحار وتقديم مواد مغذية دقيقة للإنسان ومخصبات للزراعة. وقد يحول أخذ هذين المنتجين الثانويين في الحسبان (تصنيع مواد ذات طاقة منخفضة وتعويض نقص غذاء التربة) إنتاج الوقود الأحيائي إلى استثمار مُجدٍ اقتصادياً. ومن الممكن زراعة الطحالب على واجهات المبنى لتظليل الواجهات من أشعة الشمس وامتصاص ثاني أكسيد الكربون، ولكن ما زالت الجدوى الاقتصادية لكل هذا بعيدة المنال.

حالة دراسية

جزيرة الطاقة الخضراء:

جزيرة الطاقة الخضراء (الشكل ١٠٦ على الصفحة المقابلة) من تصميم مكتب غوتليب بالودان-معماريون دانماركيون وهي مقترح افتراضي ولكنه واقعي جداً ويوضح منهجية التفكير في الأنظمة بطريقة تضمن تكامل عدد من تقنيات الطاقة المتجددة وأنظمة تخزين الطاقة مع بعضها ضمن مجموعة تكافلية.

كانت نقطة البداية في المشروع أن الطاقة المتجددة متعددة في أشكالها ومتنوعة في مخرجاتها، وحتى نوجد نظام مرن يوفق بين الجميع لا بد أولاً من توفير نظام تخزين للطاقة. كما هو معروف فإن البلدان منخفضة التضاريس تكون مناسبة أكثر لتوليد طاقة الرياح ولكنها غير مناسبة لتخزين الطاقة عن طريق المضخات؛ وذلك لعدم وجود مرتفعات على أراضيها. وفكرة مشروع جزيرة الطاقة الخضراء تحل تلك المشكلة من خلال خزان كبير لمياه البحر يستخدم طريقة المضخات نفسها: عند الحاجة إلى توليد طاقة، يستخدم الفائض من الطاقة المتجددة في تصريف مياه الخزان بسرعات كبيرة إلى البحر مروراً عبر مولدات فينتج طاقة جديدة. السعة الإجمالية لخزان المياه ٢٢,٠٠٠,٠٠٠ متر مكعب والتي تعطي قدرة توليدية مقدارها ٢,٣ جيجاوات ساعة كافية لتغذية كل منازل كوبنهاغن لمدة ٢٤ ساعة.

ويوضح المشروع فعالية وتوافق عدد من تقنيات الطاقة المتجددة وتكاملها مع بعضها. المنطقة المستوية المجاورة لخزان الماء هي مكان مثالي لوضع مولدات طاقة الرياح- أساسات مباشرة وتوجيه مباشر للرياح. ويمكن استغلال المساحات أسفل أعمدة مولدات طاقة الرياح لزراعة محاصيل غذائية أو كتل أحيائية. ويوجد في وسط خزان الماء شبكة عائمة من الخلايا الكهروضوئية تتبع بسهولة حركة الشمس- يمكن تحريك ألواح الخلايا الكهروضوئية في مستوى واحد، في حين يمكن تحريك الأساس العائم ليتبع حركة الشمس من الشرق إلى الغرب. الحافة الخارجية المستوية للبحيرة تعد أرضاً خصبة لتجمع طيور البحر، أما الحافة الصخرية المنحدرة تحت سطح البحر فتعد شاطئاً صخرياً جديداً. وفي حين يكون قاع البحر الصخري المستوي غالباً فقيراً في تنوعه الحيوي، فإن الشواطئ الصخرية تعدُّ أغنى مواطن التنوع الحيوي؛ لذلك سيسهم هذا المشروع في إحداث زيادة سريعة في التنوع الحيوي وسيساعد في توفير رصيد سمكي.

وتم اختيار موقع المشروع بسبب قربه من محطة توليد الكهرباء بالغاز؛ لأنه عند الانتقال من اقتصاد وقود أحفوري إلى اقتصاد شمسي فإن المشاريع مثل جزيرة الطاقة الخضراء ستبقي على المحطات العادية للطاقة في وضع التشغيل بأحمال ثابتة مع التحسين المستمر لفعالية الأداء. والمشروع متوافق مع أشكال أخرى من البنى التحتية فيمكن بناؤه قريباً من جسر بحري قائم. ويمكن للمشروع أيضاً أن يحتوي على ميناء صناعي وأنشطة أخرى مشابهة بعيداً عن المناطق السكنية، أو العكس من ذلك فربما يحتوي على أنشطة ترويحية مع مرسى وحدائق مخصصة وطرق للدراجات.

ويقع معظم مدن العالم على الشواطئ وبعضها توسع عن طريق استصلاح الأراضي. ويمكن بناء جزيرة الطاقة الخضراء بالقرب من تلك المناطق، وعلى المدى الطويل تستطيع توفير حماية من خطر ارتفاع منسوب البحر الذي يهدد بغرق المناطق الحضرية في الأراضي المنخفضة. وفي عدد من المناطق الساحلية المنخفضة يأتي الخطر الأكبر من الفيضانات؛ بسبب كسر الأمواج العاتية للسدود البحرية. إن توزيع بحيرات مد وجزر أو توزيع نماذج مطورة عن جزيرة الطاقة الخضراء على الشواطئ يحمي من ضرب الموجات الكبيرة للشواطئ ويجنب الحاجة إلى بناء حوائط بحرية مكلفة. وبينما صمم المشروع الموضح صورته في الصفحة المقابلة للدنمارك؛ طور المكتب المعماري مشاريع مماثلة لمواقع في الولايات المتحدة الأمريكية، والبحرين، والهند، والصين مع تصميم أنظمة طاقة متجددة مناسبة لكل موقع.



نتائج بخصوص إنتاج طاقة المباني:

إن التعامل الصحيح ومعالجة تحديات الطاقة سيطلق موجة جديدة من الإبداعات لم تشهدها الحضارة من ذي قبل. إن أي نهج منطقي للحد من انبعاث غازات الاحتباس الحراري يتطلب كخطوة أولى زيادة الفعالية بصورة جذرية، والإبداع في البيئة المبنية يوفر فرصاً واعدة في ذلك المجال.

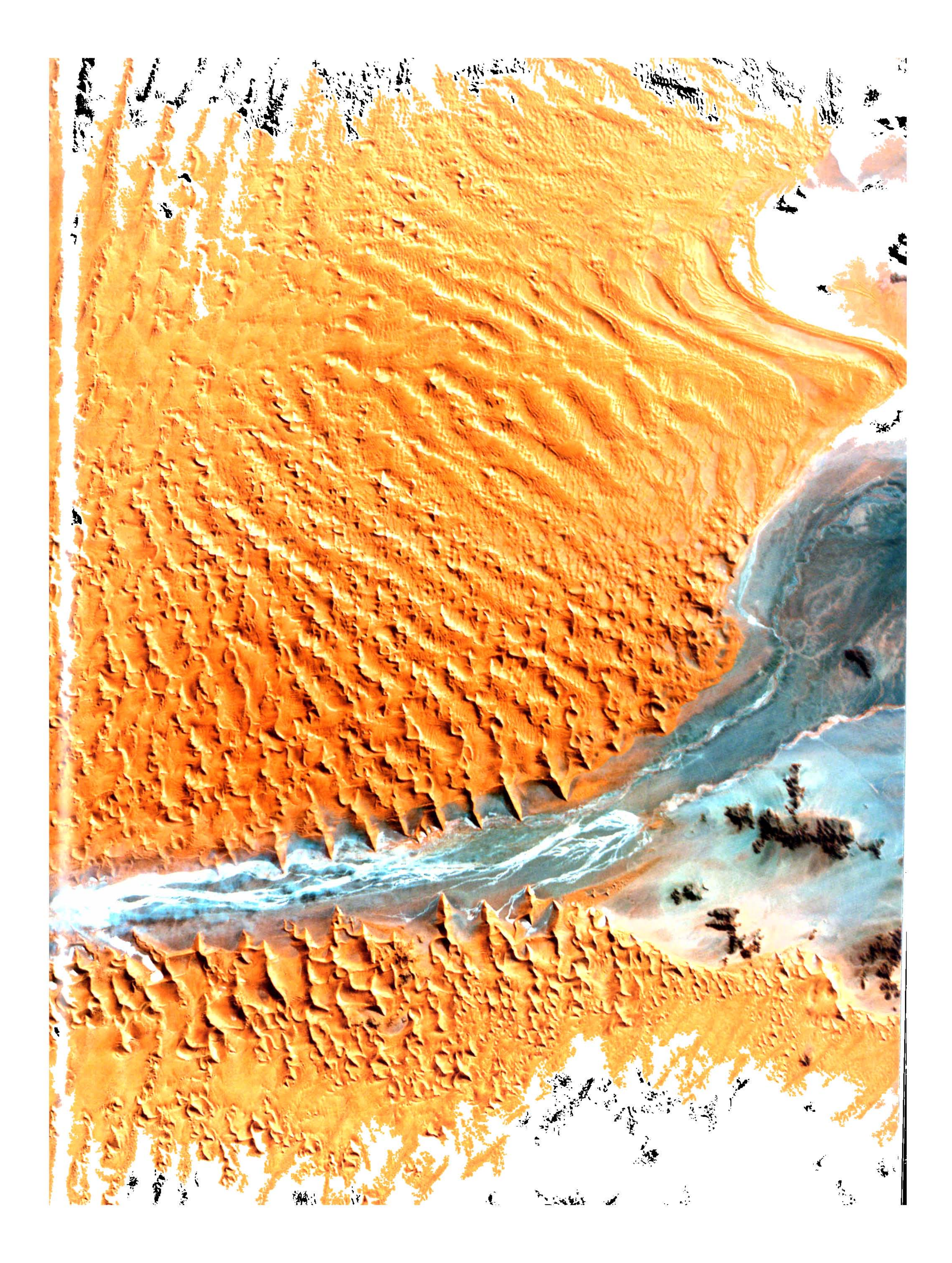
نعرف حتماً ومن خلال نظرة إستراتيجية على أرقام الطاقة المتوفرة أن ننشئ اقتصاداً شمسياً. ونعرف أيضاً أن هناك فوائد رئيسة ومنها: هواء أنظف، وإصلاح للنظم البيئية وإحداث تنوع بيئي سريع، وشراكة الدول في الموارد بطريقة تحفز على التعاون فيما بينها بدلاً من نشوء الاضطرابات. وتمنح محاكاة الطبيعة حلاً مرناً، خالياً من السموم، تصالحياً، ومعتمداً على مصدر طاقة لا ينضب.

وتقترح نماذج الاقتصاد الشمسي حاجتنا مستقبلاً لما يقارب من ٣,٦ مليون مولد طاقة رياح، و٣ بليون مصفوفة كهروضوئية ذات حجم منزلي، ومشاريع ذات أحجام كبيرة لتوليد طاقة المد والجزر والطاقة الكهرومائية وما يقارب ٦٠٠٠٠٠ كيلومتر مربع من حقول الطاقة الشمسية المركزة (CSP)- كلها يجب أن تبنى خلال الأعوام الأربعين القادمة. وتبدو أرقاماً صعبة المنال، ولكن علينا مقارنتها مع بعض الإنجازات الصناعية الأخرى التي قبلنا بها وتعودنا عليها. ويجب مقارنة الثلاثة بلايين مصفوفة كهروضوئية مع الثلاثة بلايين هاتف جوال ورقم آخر مقارب من أجهزة الحاسوب الشخصية وكلا الرقمين تم تحقيقه فقط خلال السنوات العشرين الماضية. وبالطريقة نفسها فإن حقول الطاقة الشمسية المركزة (CSP) والكهرباء المائية والطاقات البحرية المتجددة يمكن مقارنتها بإنتاج ٥٠ مليون سيارة تصنع سنوياً ٨٧. و٥, ٢٤ مليون طن من سفن جديدة تنتجها سنوياً صناعات بناء السفن[٨٨]. وبعد كل هذا يحق لنا أن نتسائل: هل بناء اقتصاد شمسي يقع حقاً خارج نطاق ما حققته الحضارة حتى الآن؟[٨٩].

أغلب أشكال الطاقة المتجددة ما زالت في مراحل مبكرة وهي تتطور مع التطور المستمر للتقنية. إني واثق أننا سنرى مزيداً من الطاقة المتجددة على شكل مجموعات تكافلية- مولدات طاقة رياح بحرية على قواعد تستفيد أيضاً من طاقة المد والجزر عن طريق تركيب مولدات تعمل على تيارات المد والجزر، ومولدات طاقة رياح على الجدران الحابسة لبحيرات المد والجزر وتوليد طاقة من أمواج البحر في الجهة المواجهة للبحر، وتركيبات الطاقة الشمسية المركزة (CSP) والتي تنتج أيضاً الطحالب اللازمة للوقود الحيوي وإنتاج غاز الميثان من النفايات. إذا ما أردنا لتلك المجموعات التكافلية تحقيق تكامل ذي حس مرهف مع تصميم المدن وتنسيق المواقع؛ فهناك فرصة حقيقية لتحقيق ذلك من قبل المعماريين والمهندسين والمتخصصين في البيئة من خلال بناء فرق عمل متعاونة. إن المرافق الجديدة للاقتصاد الشمسي توفر مجالاً وفرصاً جديدة للتصميم. ومن الممكن أن نطبق بعض الدروس التي تعلمناها من محاكاة الطبيعة وساعدتنا في تطوير مولدات طاقة رياح وجعلها تعمل بطريقة أكثر كفاءة؛ أن نطبقها أيضاً في تطوير تقنيات تيارات المد والجزر، وتقنيات توليد طاقة أمواج البحر، وأجيال جديدة من الخلايا الكهروضوئية، والسماح بتكامل أفضل مع البيئة المبنية.

وأثبتت الدراسات التفصيلية لديفيد ماكاي أن من الممكن عملياً تحقيق اقتصاد شمسي، لكن يجب أن لا نخدع أنفسنا وندعي أن ذلك سهل المنال. ويكمن الجزء الأساس من الحل في مساحات شاسعة من مجمعات الطاقة الشمسية المركزة وفي الفصل القادم سنتناول مشروعاً جرَّب هذا النوع في توليد الطاقة.

١٠٦. جزيرة الطاقة الخضراء.



تجميع لرؤى فكرية

حين أُجريت مقابلة شخصية مع بيتر سميثسون ضمن إجراءات تعيينه لإدارة الرابطة المعمارية بلندن في أوائل ١٩٨٠؛ كانت الفكرة التي طرحها عليهم كالتالي: سيقوم الطلاب في السنة الأولى بإعادة تصميم العالم؛ لأنك عندما تكون في الثامنة عشرة من عمرك فإنك تستطيع. في السنة الثانية سيصمم الطلاب مدينة. في السنة الثالثة سيصممون مبنى عام رئيس. في السنة الرابعة سيصممون منزلاً، وفي السنة الخامسة سيضعون تفاصيل ذلك المنزل[٩٠]

هذا هو الفصل الأخير وهيكلته تذكرنا بحكاية سميثسون؛ لأننا سنشرح فيه كيفية تطبيق محاكاة الطبيعة على مشروع استصلاحي بمقياس ضخم، ثم على مقياس مدينة بيئية، ثم على مقياس تصميم محطة نقل، وفي نهاية المطاف سنرى كيف أعادت شركة كبرى التفكير في واحد من منتجاتها المعمارية التي تقوم بتصنيعها. بينما سيطر على المشاريع التي تم عرضها في الفصول السابقة موضوع واحد من مواضيع محاكاة الطبيعة، يلاحظ على المشاريع التالية التركيز على أساليب التكامل بين عدد من مجالات محاكاة الطبيعة. والاتساع المتعمد في نوعية المشاريع يحمل في طياته معنى شمولية محاكاة الطبيعة وتطبيقاتها الواسعة في مجال التصميم والفرص التي تقدمها لمعالجة تحديات المستقبل.

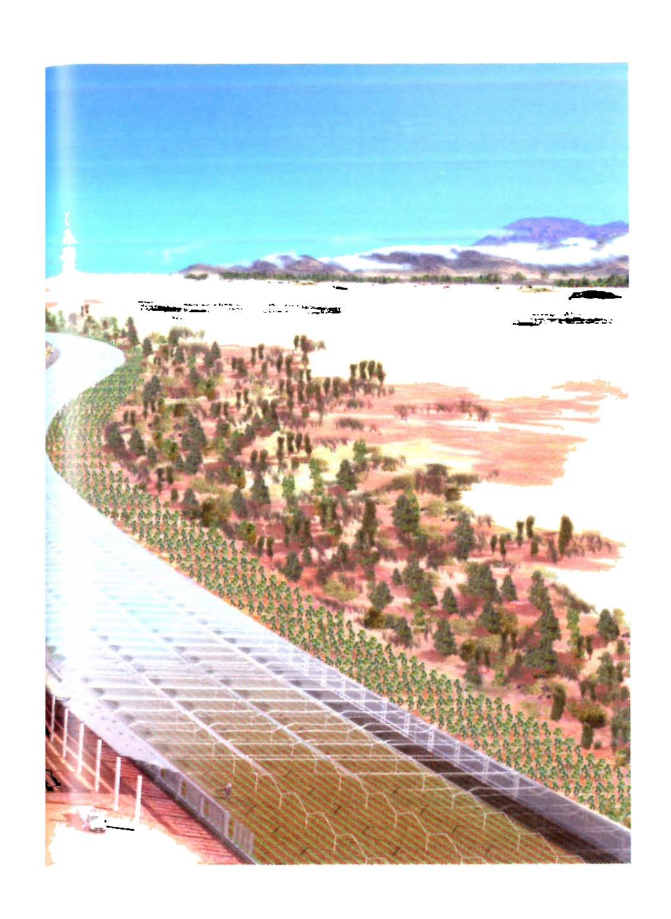
مخطط يحاكي الطبيعة في استصلاح الأراضي وتوليد الطاقة: مشروع غابة صحاري:

قد يتفاجأ البعض أن معظم الصحاري كانت مروجاً خضراء في التاريخ القريب وأنها ستعود كذلك مرة أخرى. حين وصل يوليوس قيصر إلى شمال إفريقيا، وجد أمامه غابات من أشجار الأرز والسرو. لقد تعجب الكاتب الروماني بليني من وفرة الفواكه في الغابات وتنوع الحيوانات. سَوّت جيوش قيصر الأرض وأسست المزارع واستمر شمال إفريقيا لمدة ٢٠٠ عام يمد الإمبراطورية الرومانية بنصف مليون طن من الحبوب في كل عام، ولكن على مر السنين اجتثّت الغابات وتملّحت التربة وأُفرِطَ في استغلال الأرض فكان ما كان، تغيّر المناخ وانّخفضت الإنتاجية[٩١]. لقد كان نموذجاً استخراجياً سيطر على استعمالات الأراضي لمدة ألفي عام لاحقة.

أظهرت صور الأقمار الصناعية لنشاط التمثيل الضوئي العالمي أن حدود النمو على حواف الصحاري يتغير ذهاباً وعودة بصورة مثيرة على مدار العام. وهذا يثير سؤالاً عن التدخل في تلك الحواف ومدى مساهمة ذلك في تخفيف أثر التصحر أو حتى عكسه. بالنسبة لفريق عمل مشروع غابة صحاري؛ فإن معظم الإلهام لمعالجة هذا التحدي جاء بعد دراسة الكائنات التي تأقلمت على الحياة في الصحراء. بالإضافة إلى ذلك فإن الأساس الجوهري لمحاكاة الطبيعة في المشروع جاء من محاولة دمج تقنيتين ثبت نجاحهما: محطة توليد طاقة شمسية مركزة

١٠٧. إنه من الصعب أن نصدق أن معظم صحاري العالم كانت بالفعل ومنذ فترة تاريخية قصيرة مروجاً خضراء. إن إدارة الماء والطاقة والأرض بأساليب يكمل بعضُها البعض الآخر الآخر خلال القرن ٢١، ستكون له آثارٌ كبيرة في مدى نجاح الحضارة أو فشلها.

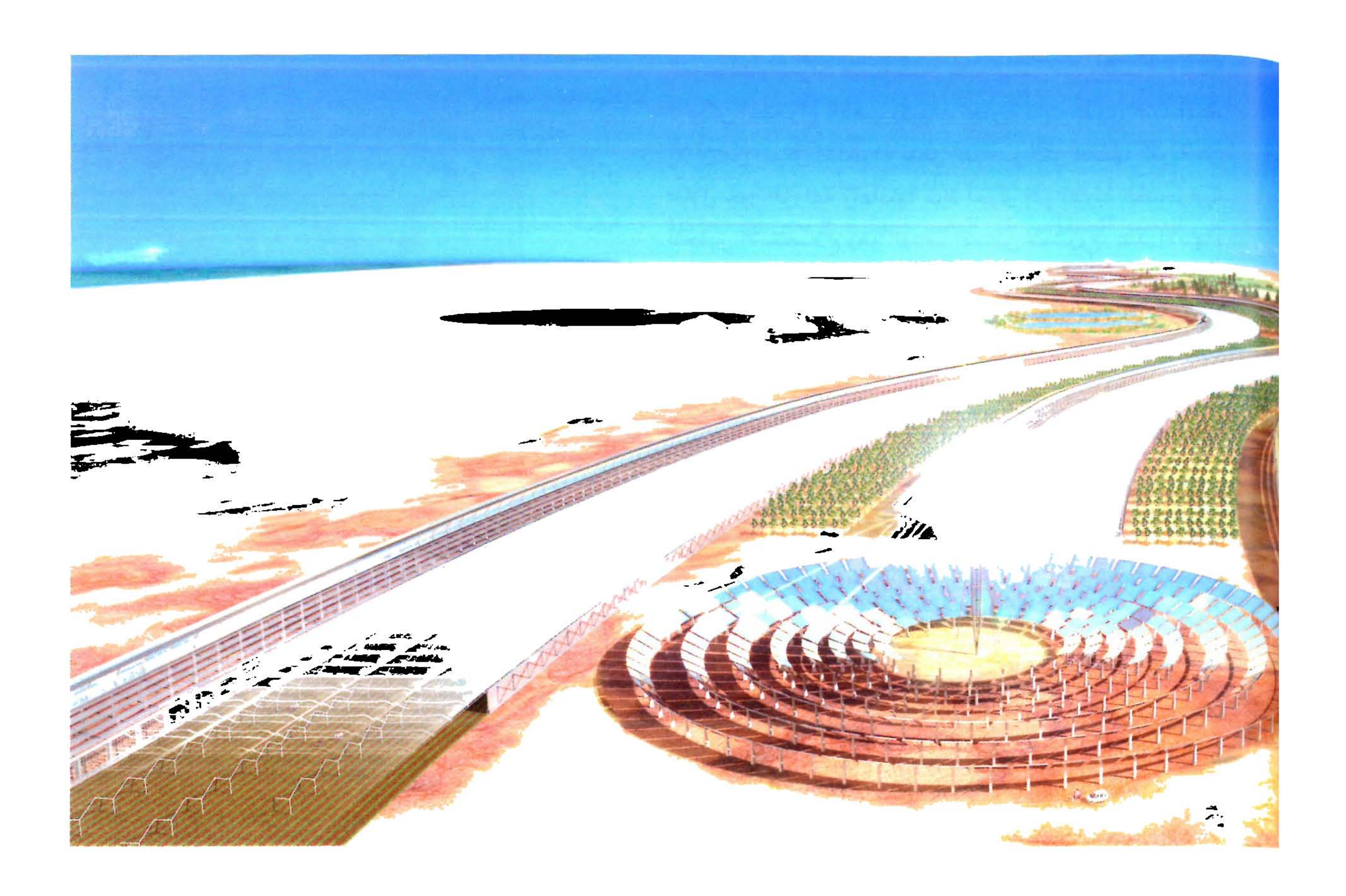
(CSP) وبيوت زجاجية لمياه البحر، وهذه أول مرة يتم فيها دمج التقنيتين واسكتشاف إمكانية الربط بينهما.
وفيما يلي أوجه التناسق بين التقنيتين:



- كلا التقنيتين تعملان بشكل جيد في الصحاري الحارة المشمسة.
تجتاج الطاقة الشمسية المركزة إلى مياه محلاة لتنظيف المرايا العاكسة وتشغيل المولدات.
- تُنتج الطاقة الشمسية المركزة كميات كثيرة غير مستغلة من الحرارة ويمكن الاستفادة منها في تبخير المزيد من مياه البحر سواء أكانت التي في بيوت زجاجية أم القريبة منها من أجل زيادة مزايا الطاقة المتجددة.
- يوفر ظلال مرايا الطاقة الشمسية المركزة مكاناً مناسباً لزراعة تشكيلة من النباتات، ولو وضعت المرايا مباشرة خلف البيت الزجاجي فسيعمل ذلك على زيادة الرقعة التي تؤثر فيها الرطوبة ومن ثم مزيدٌ من الرقعة المستصلحة والمناسبة للزراعة.
- تعمل البيوت الزجاجية بفعالية كما لو أنها "أجهزةٌ لغسل الغبار" فتزيل العوالق من الهواء وتقلل تراكم الغبار من مرايا الطاقة الشمسية المركزة.

أحد الأمور العجيبة عن أول بيت زجاجي لمياه البحر هو قدرته على إنتاج كميات من المياه تفيض عن حاجة النباتات بداخله. هذا الفائض من المياه تم جمعه بطريقة مشابهة للطريقة التي يقوم بها الخنفساء الناميبي صائد الضباب والتي أشرنا إليها في الفصل الرابع من الكتاب، ونظراً لإنتاجه بكميات تفوق الحاجة فقد تم رش الفائض منه على الأراضي المجاورة للبيت الزجاجي. هذ الماء المرشوش وزيادة الرطوبة حول البيت الزجاجي كان لهما تأثير عجيب في الموقع. كانت أرض المشروع مقفرة قبل التنفيذ، وبعد مضي عام من عمر المشروع تحولت الأرض المقفرة إلى أرض ذات زرع وخضرة. على هذه الصورة، ارتقى هدف المشروع إلى أبعد من مجرد "الاستدامة" فوصل إلى "الاستصلاح". إن الهدف من مشروع غابة صحارى (الشكل ١٠٨) هو توظيف أفكار تحاكي الطبيعة من أجل تحقيق مفهوم الاستصلاح في أعلى درجاته.

كان التصور الأولي للمشروع عبارة عن ثلاثة صفوف شريطية من بيوت زجاجية مواجهة للرياح السائدة مع محطات طاقة شمسية مركزة ذات أبراج موزعة على مسافات منتظمة. كان للنسخ الثلاث السابقة من البيوت الزجاجية لمياه البحر أثر مفيد في تحليل بيانات الأداء، والتي أكدت أن القدرة التبخيرية للمشروع تصل إلى ٥٠ طناً من مياه البحر لكل هكتار في اليوم. ولو بني المشروع على مقياس أكبر، أي بمساحة تساوي ٢٠٠٠٠ هكتار من بيوت زجاجية في المرية (Almeria)بجنوب إسبانيا؛ فإن القدرة التبخيرية للمشروع ستصل إلى مليون طن من مياه البحر في اليوم. الحل المثالي للمشروع هو أن يعمل بأقل طاقة ممكنة، ولهذا تم بحث إمكانية بناء المشروع بالقرب من منخفضات تحت مستوى البحر. تتوفر تلك الصفة في مواقع كثيرة من الشمال الإفريقي والشرق الأوسط ومنها منخفض القطارة والبحر الميت، فالأول ينخفض بمسافة قدرها ١٠٠ متر



عن سطح البحر، أما الثاني فينخفض بمسافة قدرها ٤٠٠ متر. إن بناء نموذج تجريبي لمشروع غابة صحارى في مثل تلك المواقع يمنح ميزة إضافية ألا وهي توليد طاقة كهرومائية من خلال تسخير تدفق مياه البحر في الأنابيب.

إن تبخير كميات كبيرة من مياه البحر ينتج عنه كميات كبيرة من الملح، وكما رأينا في الفصل الثالث، يجب أن نتعامل مع المواد غير المستفاد منها بوصفها فرصة ذات قيمة إضافية وليس بوصفها مشكلة. وتحتوي مياه البحر تقريباً على كل مواد الجدول الدوري، وطموحنا أن نسعى لتحقيق نظام خال من النفايات (صفر النفايات) عن طريق استخراج ما يمكن استخراجه من الماء المالح. كربونات الكالسيوم هي أول من يتبلور أثناء عملية التبخر وتتجمع على وسائد التبخير المصنوعة من الورق المقوى داخل البيوت الزجاجية، وحين تلبسها الكامل بكربونات الكالسيوم، تُنزع تلك الوسائد ويعاد استخدامها مرة أخرى كبلكات خفيفة الوزن في البناء. يتم تدوير الكربون من الغلاف الجوي ثم إلى مياه البحر ثم إلى بلكات تستخدَم كمادةَ بناء. المركب الثاني في التبلور هو كلورايد الصوديوم والذي يمكن استخدامه في مئات التطبيقات الصناعية أو ببساطة عن طريق كبسه في بلكات تستخدم في البناء. ونمضي في عملية استخراج المواد فنجد كلورايد الماغنيسيوم، وهو مركب ذو قيمة عالية سواء أكان بوصفه عامل تجفيف في أنظمة تكييف الهواء أم عامل استرداد الفوسفات من مياه الصرف الصحي (أحد أقل الطرق استهلاكاً للطاقة هو تبريد الهواء عن طريق تعريضه لبخار ماء ومن ثم استخدام كلورايد الماغنيسيوم مجففاً لإزالة الرطوبة الزائدة، أما عند جمع كلورايد الماغنيسيوم مع

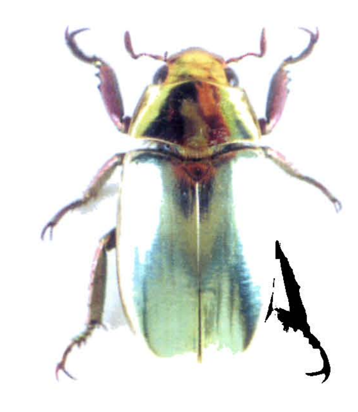
١٠٨. مشروع غابة صحارى- مشروع يسعى ولأول مرة إلى تكامل نوعين من التقنية لتحسين الترابط والتعاضد بين أنشطتها وتحقيق منافع ثانوية.

الفوسفات والنترات فينتج سماد مفيد يسمى ستروفايت). وبينما لا يمكن استخراج الذهب بكميات تجارية ذات جدوى اقتصادية، إلا أن من الممكن استخراج بعض العناصر التي فقدتها التربة من خلال جور الزراعة وإعادتها مرة أخرى إلى التربة الصحراوية لتحقيق الاستصلاح وهو الهدف الأسمى للمشروع. عند الانتهاء من كل ذلك، فإن المشروع يحول نظام استعمال الأرض وإدارة العناصر الغذائية إلى حلقة مغلقة وقد ظلت إلى حد كبير تسير بطريقة خطية ومسرفة منذ عهد قيصر.

إن وجود أنابيب لنقل مياه البحر يمنح فرصة لتربية الحياة البحرية فعلى سبيل المثال لا الحصر: زراعة أذن البحر، وإنتاج الطحالب، وزراعة الأسماك، وزراعة النباتات الملحية (نباتات تأقلمت مع الظروف الملحية). بجانب توفير الغذاء (والطاقة أيضاً في حالة الطحالب) هذا النوع من الزراعة ينتج أيضاً منتجات ثانوية مثل السيليلوز والكيتين والتي يمكن أن تدخل في تكوين مواد جديدة للبناء. تربية طحالب دقيقة وطحالب كلية قد تبرهن على أنها طريقة مثالية لاستخراج العناصر النزرة من مياه البحر واستخدامها في إنتاج الأسمدة. وكما رأينا من قبل في بعض أمثلة التفكير بأسلوب النظم؛ هناك قناعة بأن النظام يستطيع النمو، وبقدر ما يزداد توسع النظام ونموه يزداد معه أعداد الاحتمالات.

عزم الفريق على استخدام محاكاة الطبيعة في كل عمليات التصميم والتطوير. قد يمكن مستقبلاً تصنيع أسطح مرايا من بروتينات في ظروف درجة حرارة وضغط الهواء المحيط كما في الجعل الفضي (الشكل ١٠٩) [٩٢]، وإضافة طبقة غير قابلة للخدش مستوحاة من سحلية الرمل (الشكل ١١٠) التي تستطيع "السباحة" في الرمل دون أن تعاني من أي كشط. كذلك يمكن مستقبلاً تبطين أنابيب نقل مياه البحر بطريقة تقاوم بها الحشف بالأسلوب نفسه الذي تستخدمه الأعشاب البحرية، وغير ذلك من الإبداعات التي ترفع من قيمة المشروع.

عادة تميل مناهج التصدي للتحديات البيئية إلى التركيز على مشاكل محددة، في حين يمكن تحقيق نتائج أفضل بمعالجة أسباب فشل النظام بدلاً من تشخيص الأعراض الفردية. لقد أثبت مشروع غابة صحارى كيف أن محاكاة الطبيعة ساعدت على التصدي لمجموعة واسعة من التحديات ومن ذلك على سبيل المثال: توفير مياه الشرب، والتحول إلى اقتصاد شمسي، وتخصيب الأرض، وعزل الكربون عن التربة، وإغلاق دورات الغذاء، وتوفير فرص وظيفية لعدد كبير من البشر.



١٠٩



١٠٩. خنفساء الحلي لديها درع لامع تصنعه من البروتين في أحوال عادية من درجة الحرارة والضغط الجوي. هل بإمكاننا أن نصنع أسطحاً لامعة بطريقة مماثلة منخفضة الطاقة؟.

١١٠. تأقلمت سحلية الرمل لتتمكن من السباحة في الرمل، ومع ذلك فإن جلدها مقاوم للخدش. هل نستطيع أن نطور مادة مماثلة ضد الخدش لمعالجة أسطح المرايا وقطع المعدات.

مدينة تحاكي الطبيعة: وانزونق (Wanzhuang)

يرأس بيتر هيد فريق التخطيط الرئيس للمناطق الحضرية في شركة أروب، ويرى أن محاكاة الطبيعة أساس حاسم للانتقال من العصر الصناعي إلى العصر البيئي. في حين أن محاكاة الطبيعة لا تعالج كل القضايا الاجتماعية والثقافية المتعلقة بالتصميم الحضري، لكنها أداة فعالة تساعد فرق العمل على فهم عملية التقارب من أجل تقديم تصميم بيئي. استلهم هيد من قائمة المبادئ التي استنتجتها جانين بينيوس في كتابها "محاكاة الطبيعة- تصميم مستوحى من الطبيعة" والتي خلصت من خلاله أن الكائنات في النظم الطبيعية الناضجة:

تستخدم النفايات مورداً.
تتنوع وتتعاون مع غيرها للاستفادة القصوى من الموئل الطبيعي.
- تجمع وتستخدم الطاقة بكفاءة.
- تحسن ولا تبالغ.

تستخدم المواد باعتدال.
لا ترتكب أخطاء بحق مقر إقامتها.
لا تتسبب في تقليص الموارد.
تبقى على اتزان مع محيطها الحيوي.
تشتغل بالاعتماد على معلومات.
تلبي احتياجاتها محلياً [٩٣]

استخدمت هذه المبادئ على نطاق واسع في تصميم دونق تان وهي أول مدينة بيئية قامت شركة أروب بالعمل عليها، وعلى غيرها من أفكار مماثلة وصولاً إلى مدينة وانزونق (الشكل ١١١) بالصين[٩٤] يتميز الموقع المخصص لدونق تان بأنه جديد وفي منطقة متنامية من الأراضي مكونة من رواسب طمي على مصب نهر يانقتزي وهو موقع لا مثيل له ويسمح بالاستجابة التقنية إلى حد كبير. وانزونق على النقيض أكثر تعقيداً، ولكنها تظل من جوانب عدة نموذجية وتصلح ضمن سياق تصميم مدينة صينية جديدة. وانزونق منطقة زراعية بها عدد من القرى التاريخية وبساتين الكمثرى ويزورها الناس من أطراف الصين. كان العميل يهدف إلى بناء مدينة بيئية امتداداً لأقرب منطقة حضرية وقام فريق سابق بالدعوة إلى مسح كل الاستعمالات الراهنة وفرض شبكة من الطرق وتقسيم الأراضي إلى قطع حضرية.

قام فريق هيد بتحليل متأن ليس فقط للتحديات المادية الظاهرة مثل نقص المياه وانخفاض الإنتاج الزراعي ولكن أيضاً تحليل ثقافة المنطقة. قام الفريق أيضاً بالتشاور مع المجتمع وطوروا نهجاً في التخطيط مغايراً للنهج العادي بأسلوب الصفحة البيضاء. كان هدف شركة أروب هو تقديم نموذج يساهم فيه العمران في دفع الاقتصاد وتقليص الهوة بين المناطق الحضرية الغنية والمناطق الريفية الفقيرة، ويسمح للمزارعين الحاليين بالاستمرار في الزراعة. اقترح المخطط النهائي تخصيص ٣٥٪ من الأرض للمباني والمحافظة على ٦٥٪ من الأراضي الزراعية كما هي، كما سيحافظ أيضاً على ٨٥٪ من مساحة البساتين التاريخية. اقترح المخطط أيضاً أن تشيد المباني الجديدة بارتفاع من خمسة أدوار إلى ستة على أطراف المستوطنات السكنية الحالية، بحيث يتم المحافظة تقريباً على كامل نسيج القرية.

إن مبدأ "التنوع والتعاون" ساهم في نقل المشروع من التشتت وأحادية وظيفة المناطق الحضرية إلى تقسيمات متضامة ومختلطة الاستعمال تسمح للسكان بالعيش والعمل والتعلم في مسافات متقاربة، وفي الوقت نفسه تتيح تواصلاً مباشراً مع مساحات مفتوحة من أجل الترفيه. ونتيجة لتركيز الأنشطة الإنسانية فقد ظهرت أماكن عامة نابضة بالحياة وجعلت النقل المستدام خياراً متاحاً للتطبيق. التطورات العمرانية الجديدة مأهولة غالباً بشريحة ضيقة من حيث تنوع السكان، ولكن مشروع مدينة وانزونق سيحافظ على التنوع في الأعمار والثقافات والمجموعات الأسرية وهو ما يعزز من نظم تبادل الدعم ويحافظ على تماسك المجتمع. وتدار الأنظمة المحلية للماء والطاقة وإدارة النفايات بطريقة تسمح بتكافل النظم وذلك من أجل رفع كفاءة استهلاك الموارد إلى أقصى درجة ممكنة وتطبيق مبدء "استخدام النفايات مورداً"

مبدأ "تجميع واستخدام الطاقة بكفاءة" ومبدأ "استخدام المواد باعتدال" قادا شركة أروب لتطوير نهج تحويلي للنقل. سيتم التعامل مع البضائع جميعها من خلال مراكز تجميع موزعة على الأطراف، وهذه بدورها تنقل البضائع إلى المنطقة المركزية بطرق عالية الكفاءة تقلل من مسافات التنقل والازدحام. كل السيارات في المنطقة الحضرية

ستكون إما كهربائية وإما مزودة بخلية وقود تعمل بالطاقة، وهي سيارات أكثر هدوءاً ونظافةً وينتج عن استخدامها فوائد صحية. تحسين الظروف البيئية سيشمل أيضاً تهوية طبيعية للمباني التجارية والتي غالباً تكون مباني مكيفة. كل المباني الجديدة ستبنى مطابقة لأحدث مواصفات توفير الطاقة. ونتيجة لكل هذه التدابير فإن من المتوقع أن ينخفض الطلب على الطاقة بما نسبته ٨٠٪ ، وهو ما يجعل توفير الطاقة عن طريق مصادر متجددة أمراً سهل المنال.

استخدم الفريق أساليب لضبط الأثر البيئي، وهو أسلوب يحسب مساحة الأرض والبحر اللازمة لإعادة توليد الموارد والتخلص من النفايات، كل ذلك للتقيد بمبدأ «البقاء متزناً مع المحيط الحيوي» [٩٥] إن ضبط الأثر البيئي يكشف إلى أي مدى ستكون جودة إنتاج الأراضي الزراعية في وانزونق. في محاضرته ببرونل، لخص بيتر هيد تلك الفرصة المواتية بقوله: "هناك دورة حميدة تسمح باستخدام النفايات مورداً بدون تلويث للهواء والماء والتربة" [٩٦]. توقع فريق تخطيط وانزونق تحقيق زيادة في الإنتاج الزراعي مقداره ٣٢٥٪ من خلال إدخال تحسينات على إدارة المياه وإنتاج محاصيل زراعية قائمة على البيئة واستخدام نفايات قابلة للتحلل بوصفها سماداً للتربة من أجل زيادة خصوبتها. كشف ضبط الأثر البيئي أيضاً عن فوائد أخرى تتمثل في التوفير الهائل في الطاقة والنفايات من خلال إدارة الموارد ضمن دورة حلقية مغلقة. سيتم في وانزونق فصل النفايات من المصدر قبل نقلها عبر أنابيب شفط إلى مرافق التدوير. اثنان بالمائة فقط ستذهب إلى مكب النفايات ومع ذلك يأمل الفريق وفي وقت يسير إعادة تصميم تلك المواد التي تسببت في هذه النسبة غير المستغلة من النفايات وفقاً لمبدأ "من المهد إلى المهد"

ذكر المؤلف هربرت جيرارديت نقطة جديرة بالاهتمام وهي أن مدينة القرن العشرين لم تكن نموذجاً «للتحضر» بالمعنى الحقيقي للكلمة. ولكنها كانت وما زالت مجرد "تعبئة موارد ومنتجات وبشر" بهدف تعظيم الاستهلاك [٩٧] لم تكن النية عند تصميم وانزونق تغليب معيار محدد على حساب آخر ولكن تحسين يشمل كامل المجموعة. ونتيجة لذلك فتناول مشكلة النقل يتطلب تخطيطاً يُحسّن من إمكانية الوصول بدلاً من مجرد تصميم لنظام نقل يزيد من حجم الحركة.

قد يصح الجدال حول بعض الحلول التي ذكرت أعلاه وأنها سبق أن طُبقت في أمثلة التصميم المستدام، ولكن محاكاة الطبيعة توفر منظوراً جديداً للتحديات الراهنة ورؤية شاملة تدعو إلى التفكير التكاملي المطلوب للانتقال إلى مرحلة العصر البيئي. وكما قال بيتر هيد: «تتعاظم الفوائد باستخدام دورات حميدة تربط بين الأداء البيئي والاقتصادي والاجتماعي لكل مكون من مكونات البيئة المبنية بحيث إن التغيير في تصميم إحداها يؤدي إلى فوائد عند الآخر" [٩٨]



١١١. رسم تخيلي لمدينة وانزونق من تصميم شركة أروب.

مبنى يحاكي الطبيعة: "جزيرة الضوء" ميناء كوهسونغ (Kaohsiung Port) ومركز خدمة النزهات البحرية:

محطة إرساء السفن السياحية بتايوان من تصميم تونكين ليو الذي وصفها بـ "جزيرة الضوء" (الشكلان ١١٢ و ١١٣). بدأ التصميم بتحليل الحالة الثقافية كما كانت البداية عند تصميم مدينة وانزونق. يهدف المشروع إلى تعزيز الصلة مع المحيط عن طريق إيجاد إحساس بالترابط مع الطبيعة كما جسدها بعض الصينين من خلال لوحات رسم الطبيعة. الحلول الروتينية لاحتياجات الانتظار وبيع التذاكر ومغادرة الركاب ارتقت في هذا المشروع إلى مستوى العمارة الشاعرية.

يوجد في المشروع عنصران هما: قاعدة مائلة تحتوي على كل الوظائف التشغيلية وسقف خفيف الوزن على شكل مظلات محمولة على أعمدة تشبه أشجار الغابة وتلقي المظلات بظلالها على المسافرين، وقد وصفها المعماري كما يلي:

«الغابة» المبنية تنثر شعراً وإحساساً ببرودة المكان في مناخ حار. في النهار، يملأ الضوء الصافي المنقش أرجاء المكان ويغطي سطح التل، وفي الليل تتوهج الأشجار نوراً من الداخل.

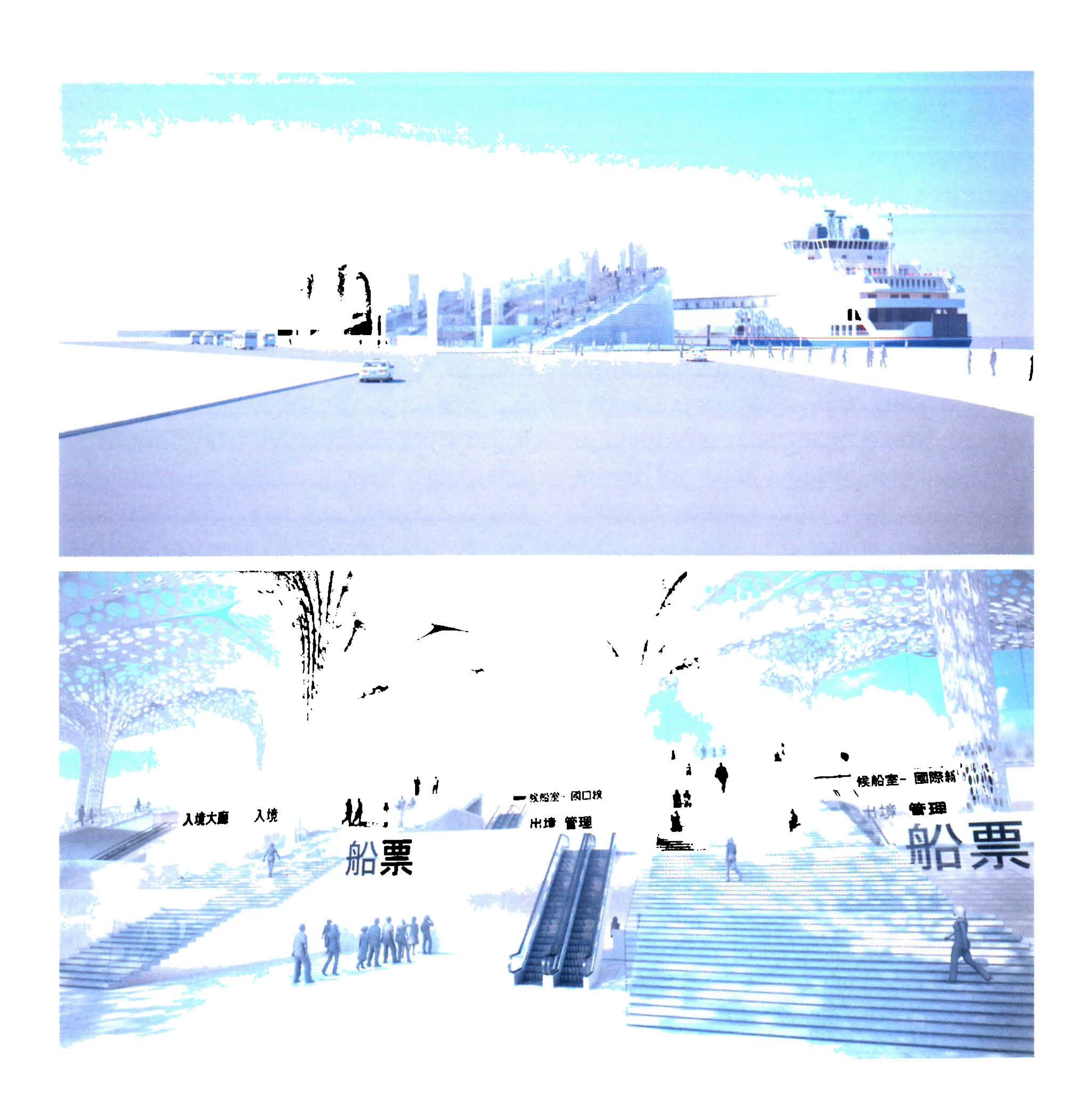
يشكل الدرج سطح التل المنحدر دائم الترحاب بالزوار سواء كان في المنطقة المناخية المزججة أو الدرج الخارجي المحمي بأعمدة مغطاة. يدعو التل الزوار والمسافرين إلى الارتقاء إلى مستوى حيث يستشعرون تدريجياً العلاقة بين مقياس المدينة ومقياس المحيط. من وجهة نظر الزوار، فهم يشاهدون مبنى يشبه مسرحاً للقدوم والمغادرة.

لتقوية البعد الشاعري للمشروع، اعتمد التصميم على مبادئ واضحة ورشيده لتوفير ظروف مريحة لمستخدمي المبنى بوسيلة منخفضة الطاقة. بدلاً من تبريد كل الفراغات، وضعت العناصر التي تحتاج إلى ظروف حرارية ثابتة في الأسفل حتى تستفيد من مزايا الكتلة الحرارية، بطريقة تشبه استغلال الحيوانات لثبات درجة حرارة تحت الأرض. في الأوقات الأشد حرارة خلال العام؛ يمكن تغذية المبنى بتبريد إضافي عن طريق مياه البحر وهو مصدر قريب ومتوفر، ويستخدم لذلك مضخات تبادل حراري عالية الأداء. في مناطق الانتظار والحركة والتي تتحمل تفاوتاً أكبر في الظروف المناخية؛ تم استخدام مظلات عالية الارتفاع ومشدودة على أعمدة شجرية الشكل والمظلات عبارة عن قشرة متدلية من صفائح الفولاذ المثقوب.

الأعمدة الإنشائية على شكل جذوع الأشجار وتقوم بوظائف متعددة كما هو الحال في الشجر الحقيقي. أولاً: تمنح حماية من الشمس والهواء والرياح عن طريق تغطية المبنى بوسائد شفافة من مادة (ETFE). ثانياً: تسهل دخول التهوية الطبيعية باستخدام مصائد تهوية على السطح وفتحات علوية تعمل جنباً إلى جنب مع فتحات سفلية لمساعدة الهواء على التدفق الحر بكميات وافرة في أرجاء المبنى مع الاستفادة من عامل الرياح وتأثير حركة الهواء الساخن إلى أعلى. ثالثاً: تتحكم في تصفية ضوء الشمس وتسمح له بالعبور إلى أرضية المبنى، وبتركيب وحدات إنارة يزداد المبنى إشعاعاً في الليل ليتحول المبنى إلى رمز للمدينة. أخيراً، يجمع السقف مياه الأمطار ويستفاد منه لتلبية معظم متطلبات المبنى من المياه.

المظهر الخارجي للقاعدة المائلة أخذ شكل سلسلة متتابعة من الشرائح أعطت إحساساً بخطوط طبوغرافية جيولوجية وعكست ضوء النهار في عمق المساحات الخلفية. وفتحت نوافذ معينة تأطر مناظر ساحرة للبحر.

وظف المشروع عدداً من مناهج محاكاة الطبيعة لتلبية احتياجات وظيفية واستطاع أن يجمع بين محاكاة الطبيعة وما تحمله البيئة الطبيعية بتايوان من تلميحات ثرية ومثيرة للذكريات.



١١٢. منظر خارجي لمشروع "جزيرة الضوء" من تصميم تونكين ليو يوضح تكوينَي «التل» و «الغابة».

١١٣. منظر داخلي يوضح أنماط الضوء المنقوشة بتأثير من السطح المتدلي على شكل "قشرة من صفائح الفولاذ المثقوب" والذي يحمي المبنى من الشمس والرياح والمطر بينما يسمح بتدفق ضوء صاف ويجمع ماء المطر.

كانت شركة إنترفيس في عام ١٩٩٤ شركة عادية وناجحة تجارياً وتورد منتجات وبلاطات سجاد للمعماريين والعملاء في مجال البناء وأعمال النهو الداخلية. وذات مرة جاء طلب من رئيس الشركة راي أندرسون لإلقاء كلمة عن السياسة البيئية لشركته، وبعد بحث حقيقي عما يمكن قوله أخذ بنصيحة زميل أوصى بقراءة كتاب بول هاوكين "إيكولوجيا التجارة". وصف أندرسون وقع هذه التجربة عليه بمنزلة «الرمح في الصدر»[٩٩]. لقد صدمته حقيقة مفادها "لا يوجد شركة صناعية على وجه الأرض تحقق الاستدامة بالمعنى الذي تواجه فيه احتياجاتها الراهنة دون أن تحرم أجيال المستقبل من تلبية احتياجاتهم"[١٠٠] لقد قرر حينها أن يضع شركة إنترفيس في الطريق لتصبح أول شركة مستدامة، ثم تحولت من بعد ذلك إلى أول شركة استصلاح.

اتبعت الشركة بعد ذلك إجراءات مكثفة للتواصل مع رواد الفكر من أمثال جانين بينيوس، وبول هاوكن، وأموري لوفينز هنتر، وجوناثان بوريت، وساعد هؤلاء في إعادة صياغة الشركة وكتابة رسالتها. ربما أن فكرة معاملة النفايات بوصفها فرصة استثمارية كانت المبدأ الرئيس من مبادئ محاكاة الطبيعة والذي حرك عجلة الابتكار في الشركة. تشارلي ايتل الذي أصبح رئيساً للشركة فيما بعد والمسؤول الأول عن العمليات؛ عرف النفايات تعريفاً دقيقاً بقوله "أي مدخل قابل للقياس ولا يلقي له العميل قيمة"[١٠١]

الطرق القديمة لفرش الأرضيات هي لصق السجاد العريض على أرضيات المكاتب ويتطلب ذلك إزاحة كل أثاث المكتب. تؤدي تلك الطريقة القديمة أيضاً إلى انبعاث خليط من الغازات بتأثير المواد اللاصقة ومثبطات الحريق ليستنشقها المستخدمون. بعد مدة وجيزة، يتهالك أجزاء من السجاد في أجزاء محددة منه نتيجة الاستخدام المكثف ومن ثم طيه ثم التخلص منه في أقرب مكب للنفايات واستبداله بسجاد جديد في عملية متكررة من التعطيل والتبذير والتلوث الداخلي. اكتشفت شركة إنترفيس مزايا ضخمة عند تقديم خدمة تغطية الأرضيات بدلاً من مجرد تصنيع منتج. لذلك قامت بتطوير بلاطات من السجاد تعيش عمراً طويلاً ويمكن تجديده إلى أجل غير مسمى، وتستطيع الشركة تعويض السجاد المتهالك خارج ساعات العمل وتزويد العميل بخدمة أفضل وتكلفة أقل وفي الوقت نفسه تحقيق زيادة منقطعة النظير في كفاءة الموارد.

في محاضراته العديدة، كان راي أندرسون دائماً يطلب من الحضور إغلاق أعينهم وتخيل مكان تغمره السكينة والجمال. ثم يطلب من الحضور أن يرفعوا أيديهم إذا تخيلوا أن ذلك المكان يقع خارج القاعة، ثم يطلب منهم أن يفتحوا عيونهم ليكتشفوا أن كل من في القاعة قد رفعوا أيديهم تقريباً. الكل وبدون استثناء إلا القليل، تخيل غابة ومروجاً وجداول مياه أو أي عنصر من عناصر الحياة البرية، وهذا يبرهن على صدق التعبير الذي أطلقه إي أو ويلسون وهو "ألفة الطبيعة" وأن ارتباطنا بالطبيعة هو ارتباط واضح وراسخ ومتين. في عام ٢٠٠٠ عملت شركة إنترفيس مع رابطة محاكاة الطبيعة للإجابة عن سؤال وهو: "كيف ستصنع الطبيعة السجاد؟". أقيمت ورشة عمل وكان أغلب الحضور من المعماريين الذين تجولوا في الغابة ليتفكروا ملياً في الموضوع. وبعد بداية محيرة بعض الشيء؛ ظن المصممون أنهم سينظرون إلى أشكال الورود والألوان الطبيعية وما شابه ذلك. ولكن أهم ملاحظة أثيرت في ورشة العمل هي "العشوائية" خصوصاً أنه لا يوجد قطعتان متشابهتان في أرض الغابة ومع ذلك يظل هناك انسجام ظاهري. أحد نتائج الورشة تبلورت في فكرة منتج جديد باسم "السجاد العشوائي" الذي يحاكي النمط الفوضوي في الطبيعة، وتعاظمت فوائد هذه الفكرة وتنامت أضعافاً مضاعفة (الشكلان ١١٤ و ١١٥). أولاً: يمكن تركيبها عشوائياً دون أن يظهر عليها أثر بقايا نفايات التثبيت. ثانياً: ضبط الجودة يرفض أي عيب حتى لو كان مخفياً بأسلوب جيد، فما بالك بمنتج لا يعرف فكرة "العيب" أصلاً. ثالثاً: سهولة إصلاح السجاد وإمكانية تقليل حدوث التهالك عن طريق تناوب قطع السجاد؛ لأنه انتفت تماماً ضرورة المطابقة التامة لقطع السجاد. حققت تشكيلة السجاد العشوائي أعلى مبيعات لشركة إنترفيس وما زالت مشهورة جداً حتى يومنا هذا.

ما زالت ابتكارات محاكاة الطبيعة في شركة إنترفيس تترى، ومن ذلك ابتكار طرق لاستبعاد المواد اللاصقة من وحي قدرة الوزغ على التمسك بأسطح ملساء. استخدم مصمم الشركة مبادئ "تركيب الشكل المناسب للوظيفة" وإعادة هندسة السجاد لتحقيق المتانة نفسها ولكن باستهلاك نصف المواد. دفعت شركة إنترفيس الاستدامة الاجتماعية قدماً للأمام من خلال تشكيلة "أعمال نزيهة" وهو برنامج يدمج بين المهارات المهنية والمواد المحلية في بعض أفقر مناطق العالم، مبرهنة على أن باستطاعة الشركات الكبرى أن تؤدي دوراً مهماً في معالجة الفقر.



طبقت إنترفيس محاكاة الطبيعة على كل قطاعات الأعمال لديها وجعلت ذلك ثقافة شاملة لديها أكثر من أي شركة أخرى، ويمكن القول إنها الأقرب لتكون شركة مستدامة أكثر من أي لاعب رئيس في مجال الصناعة. من ١٩٩٦ حتى ٢٠٠٩ استطاعت الشركة تخفيض انبعاث الغاز الدفئ إلى ٤٤٪ من خط الأساس في ١٩٩٦، وحققت تخفيضاً قدره ٨٠٪ من النفايات التي تصل إلى المكب العام[١٠٢]. رؤيتها بوصفها شركة مستدامة تتلخص في أن تكون في عام ٢٠٢٠ قد اتبعت عن كثب مبادئ كتاب جانين بينيوس: شركة تعمل بالطاقة الشمسية، وتستهلك الطاقة التي تحتاج إليها فقط، ولا تبالغ في التصميم، وتعيد تدوير كل شيء، وتحفز التنوع والتعاون، وتتأقلم مع الظروف والمهارات المحلية، وكبح الإفراط، واحتضان الأفكار الإبداعية المضطربة وقبول الأخطاء في خطوة أولى للتطور إلى حلول أفضل.



١١. عقدت شركة إنترفيس ورشة عمل مع رابطة محاكاة الطبيعة للتدبر في كيف تصنع الطبيعة غطاء الأرض. أثارت مخيلة الفريق مظهر العشوائية مع الانسجام التي تتميز بها أرض الغابة.

١١. انتهت ورشة العمل بمنتج جديد باسم "السجاد العشوائي" والذي من خلال أنماطه العشوائية حقق فوائد جمة.

النتائج:

لعل ما يثير الفضول أن ينتهي كتاب عن محاكاة الطبيعة في العمارة بحديث عن السجاد، ولكن هناك سبب متوازن ومقنع لهذا الأمر. إنها شركات النسيج التي قادت العالم نحو العهد الصناعي، وبالتأكيد أن واحدة من تلك الشركات تقود الصناعة الآن للخروج نحو العهد البيئي [١٠٣]. عدد من مصنعي المنتجات المعمارية يقتفون الأثر نفسه: تطوير أسطح ذاتية التنظيف مستوحاة من أوراق اللوتس، وسطح خرساني ذاتي الإصلاح، وتأثير لوني بدون استخدام الدهانات، والقائمة تطول وتطول من إبداعات أخرى تحاكي الطبيعة. حتى المجالات غير المحتملة مثل السلامة من الحريق يمكن أن تجد حلولاً من وحي الطبيعة: الخنفساء القاذفة التي تصد من يحاول افتراسها بمفرقعات عالية الحرارة تنطلق من أسفل البطن تدرس الآن لتطوير طفايات حريق أكثر فعالية، خنفساء اللحاء (الشكل ١١٦) باستطاعتها الكشف عن حريق الغابات من بعد ١٠ كم (تقريباً ١٠٠٠ مرة أقوى من أي كاشف حريق صنعه الإنسان) وهذه الحشرة تضع الطريق لتطوير أجهزة استشعار الحريق، وأشجار مثل الكافور تستطيع مقاومة حرائق الغابات وقد تضيء الطريق لمواد مقاومة للحريق.

لقد رأينا فيما مضى سهولة تحقيق مفهوم الاقتصاد الشمسي من خلال الإبداع المحاكي للطبيعة، سواء كان ذلك بطريقة مباشرة من خلال تشكيل نظم طاقة متجددة أكثر كفاءة أو بتحقيق خفض كبير في استهلاك الطاقة أو كلاهما معاً، ولو واصلنا نحو إقامة مجمعات شمسية مركزة (CPS) على مساحات كبيرة من الصحاري؛ فسنجني فوائد لا حصر لها. يتسق ذلك تماماً مع الطريقة التي تعمل بها الطبيعة وتوفيرها إمدادات تتسم بالمرونة والتوافقية وغير المحدودية. لم يكن ذلك من قبيل المصادفة، فالشمس مصدر الطاقة وداعم لكل أشكال الحياة لبلايين السنين.

إنها ستكون دعوة أنجيلية لو اقترحنا أن الطبيعة لديها حل لكل شيء. الطبيعة لا تصنع شيئاً من المعادن، ولا تستطيع الدوران المحوري السريع أو تستعمل مولدات حرارة. ولكن الكائنات الحية وبسبب تأقلمها القاسي من أجل الحياة أضحت نماذج رائعة نتعلم منها كيف نحقق زيادة في مستوى كفاءة الموارد: لو أخذنا تأثير المواد المصنعة بمعامل قيمته ١٠٠ على مقياس توفير الطاقة وضربنا ذلك التأثير مع كفاءة نظم البناء التي وصلت إلى عشرة أضعاف البناء العادي؛ عندها سنتخيل ما يمكن تحقيقه. ولو عملنا بطريقة صحيحة، فكل تلك المواد يمكن إعادة تدويرها بشكل دائم وبطرق تحويل لا نهائية. وبالتطوير المستمر سيختفي مصطلح النفايات من القاموس. قد لا تسمح إمكاناتنا الراهنة بتحقيق معظم ذلك، ولكن يكفي أن نعلم أنه ليس من نسج الخيال لأن الطبيعة من حولنا خير شاهد على إمكانية تحقيقه.

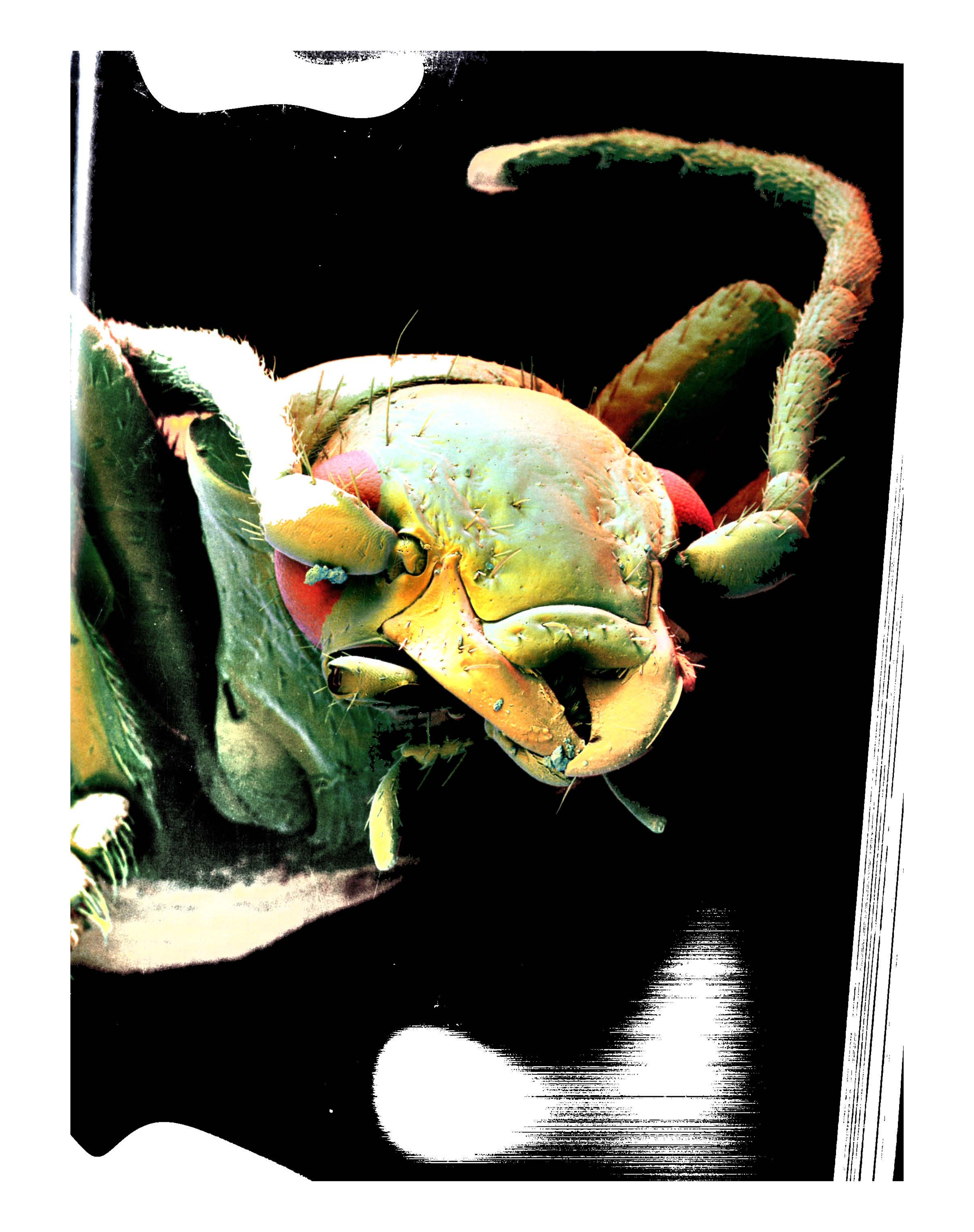
قد يكون منطقياً توجيه السؤال التالي "كيف يمكن تسريع هذه التحولات؟" الوهلة الأولى للإجابة عن سؤال كهذا دائماً ما تكون: وما الذي سيفرض التغيير؟ لا شك أن عمل إجراءات قانونية لبعض الأحوال وإجراءات مالية لمكافأة الإبداع طريق مضمون لتحفيز الابتكار. مثل تلك الإجراءات تتوافق مع محاكاة الطبيعة- بمعنى توفير الظروف التي تهيأ لصناعة التغيير. إن معظم حالات التأقلم الطبيعية الرائعة حصلت بسبب النقص أو استجابةً لضغوط معينة لرفع الكفاءة. نستطيع تحفيز الابتكارات بأساليب ضغط مشابهة، مثلاً: فرض ضرائب على استهلاك الموارد بدلاً من فرضها على الموظفين. مكافأة "المستثمرين في تدوير النفايات" إجراء آخر يحفز المبادرة في ابتكار نماذج توازن بيئي كالتي تم استعراضها في الفصل الثالث من هذا الكتاب. العمل على ارتفاع أسعار الموارد، قبل أن تتحول إلى مشكلة فائقة، هو أحد أفضل الطرق لضمان استعمال الموارد بكفاءة عالية [١٠٤]. وبهذ المناسبة دائماً ما تقوم الحكومات بالعكس لعمل إصلاح عاجل. سيكون مؤشر الاستقرار مستقبلاً، كما هو الحال في الطبيعة، يعتمد على التوازن السخي والحركي بدلاً من سراب زيادة الناتج المحلي الإجمالي.

يمكن القول إن محاكاة الطبيعة هي نتيجة منطقية للتحول المستمر الذي بدأ منذ غزو الطبيعة ثم محاولة الحفاظ عليها والآن السعي لتحقيق المصالحة، حيث يمكن المحافظة- باستخدام مبادئ محاكاة الطبيعة- على كثير من الأشياء الرائعة التي صنعتها الحضارة ولكن مع إعادة النظر في الأمور التي ثبت سوأتها على مدى طويل. هل نكون متفائلين أم متشائمين حين ننظر للمستقبل؟ يرى هانس روزلينق أن علينا أن نكون "بين الأمرين" لأن أيّاً من الاختيارين يحتمل التأكيد لابد من تقرير المستقبل الذي نريد، ثم علينا أن نسعى لتحقيقه. أصبح العصر البيئي مصيراً واضحاً بما فيه الكفاية لجعله هدفاً نسعى لتحقيقه، وإني لأرجو أن يكون هذا الكتاب دليلاً لهؤلاء الذين يرغبون في بدء المشوار.



١١٠. مصدر إلهام آخر للمنتجات التي تحاكي الطبيعة حتى في المجالات غير المحتملة مثل السلامة من الحريق. تستطيع خنفساء اللحاء واسمها العلمي "Melanophila acuminata" أن تكشف حريق الغابات من بعد ١٠ كم وما زال البحث جارياً لمحاولة تطوير أنظمة استشعار واسعة المدى وتستهلك قليلاً من الطاقة.

١١١. تمتلك محاكاة الطبيعة مخزوناً هائلاً من الإمكانيات. تطلق الخنفساء القاذفة من أسفل بطنها خليطاً كيماوياً عالي الحرارة بوصفه إحدى وسائلها للدفاع ضد المعتدين، وهذه الوسيلة ما زالت تحت الدراسة لتطوير طفايات حريق أكثر فعالية.



دونت النقاط التالية لتذكير الطلاب والمعماريين الراغبين في تطبيق محاكاة الطبيعة:

عام:

- تعلم التعاون، وهذا يعني أن تتعلم تخصصات أخرى للحد الذي يمكنك من توجيه السؤال الصحيح. لا يوجد طريق أقصر من ذلك.
- أحضر المتخصصين في علوم الأحياء والبيئة واجعلهم يشاركون في عمليات التصميم منذ المراحل المبكرة كلما أمكن ذلك.

زيادة كبيرة في فعالية الموارد:

- حدد التحديات الوظيفية في المشروع ثم تدّبر كيف تُلبي تلك الوظائف في الطبيعة.

  استخدم منهجية بيو تريز (BioTRIZ) لتطوير حلول ابتكارية غير معروفة بعد.
- أعد النظر في المشكلة منذ الأسس الأولى لها واعمل على تحسين كامل النظام.

  ضع المادة في المكان المناسب (استخدم أشكالاً عامة وفعالة لنظم البناء وعناصر فردية تستخدم الشكل والتدرج لزيادة التأثير).

  صمم بطريقة تتوافق مع محددات الموقع والظروف المتغيرة.
- ابحث عن مصدر مجاني للطاقة (درجة الحرارة الثابتة للأرض، وبرودة قاع البحار، واتجاه مناسب لحركة الرياح، وغيره).

  تخلص من الوظائف التي تستهلك الطاقة، عن طريق البحث عن معلومات أفضل.

  إذا تعذر قبول الحل المثالي في مراحل مبكرة؛ عليك أن تتوجه إلى مستوى أكبر في التأثير (ارجع إلى بحث دونيلا ميداوس بعنوان "نقاط القوة» ١٠٦).

التحول من أنظمة خطية إلى أنظمة حلقية مغلقة:

- تعامل مع الموارد غير المستغلة بوصفها فرصة ولا تتعامل معها بوصفها مشكلة. أضف عناصر للنظام تستطيع تحويل النفايات إلى قيمة مضافة.

  وسع حدود النظام وارتبط مع تدفق الموارد في مشاريع مجاورة.

  ابحث عن تآزر ودعم التقنيات بعضها لبعض عن طريق تقدير مدخلات كل تقنية ومخرجاتها.
- أعد الاعتبار في الأساليب التقليدية في امتلاك الموارد، اكتشف فرصاً أخرى في تأجير الخدمات بدلاً من شراء المنتجات.

التحول من اقتصاد الوقود الأحفوري إلى اقتصاد شمسي:

- طور خطة لتشغيل المشروع على المتوفر من الطاقة الشمسية مع إمكانية الإضافة مستقبلاً. ارجع إلى كتاب ديفيد ماك كيه "طاقة مستدامة- بدون هواء حار" واعمل من خلال ردود الفعل، التي ستجبرك حتماً على إعادة اكتشاف كل فرصة من شأنها أن تحدث تغييراً جذرياً في فعالية الموارد.
- فكر لتصبح المباني منتجاً صرفاً للطاقة بدلاً من كونها مستهلكاً صرفاً.

  لمساعدة اقتصاد الطاقة الشمسية؛ عوض التكاليف عن طريق الدمج الكامل للأنظمة بحيث تصبح جزءاً من غلاف المبنى بدلاً من فصل العناصر بعضها عن بعض.
- يجب توفير الوقود الأحفوري لصناعة مواد عالية الأداء بدلاً من حرقه.

شكر وتقدير

بدأ اهتمامي بمحاكاة الطبيعة منذ كنت يافعاً في سن المراهقة، ولكنه ظهر جلياً بعد التحاقي ببرنامج استغرق أسبوعاً واحداً بكلية شوماخر بقيادة أموري لوفينز وجانين بينيوس في ٢٠٠٣، وإني ممتنٌ لهما معاً على كريم عطائهما والاستفادة مما قدماه من معرفة خلال أسبوع حافل من الإلهام، وهو الأمر الذي غيَّر مجرى حياتي المهنية بشكل دائم. أيضاً ديانا بوميستير وجوليان ڤنسنت وهما رائدتان من رواد محاكاة الطبيعة، وبالنسبة لي موجهتان أثناء إعداد هذا الكتاب. قدمت جوليان مداخلات ذات قيمة عالية وشاملة بما في ذلك العديد من قراءة المسودات، وثروة من المراجع المهمة، وتصحيح أخطائي في علوم الأحياء. زادتني ديانا جرأة في مراحل مهمة بملاحظاتها الملهمة. وكانت المصورة الفوتوغرافية كيلي هيل خير معين دائم بوصفها زوجة وعيناً محترفة في تحديد مصادر الصور. أيضاً المحرران لوسي هاربور وجيمس طومسون قاما بعمل رائع في توضيح متن الكتاب. ومولت شركة إنترفيس للأرضيات بسخاء شراء الصور من مكتبة الصور العلمية وقد أضافت جودة بصرية هائلة للكتاب.

وأنا ممتنٌ لكل من ألَّف كتباً وضّاءة عن محاكاة الطبيعة (ستظهر كتابة كل أسمائهم هنا وكأنها إعادة كتابة ثبت المراجع!) وآخرون من أمثال آندي ميدلتون وغراهام دود اللذين تشرفت بالتدريس معهما والتعلم منهما. أفراد كثيرون سخروا وقتهم ومعرفتهم في مناقشة أفكار الكتاب، وتبادل الأفكار وقراءة المسودات ومنهم: باتريك بيلو، وكارين بيلنكو، وديفيد كروكس، وديفيد دي روتشيلد، وهربرت جيراردیت، وبريان جودوين، وفريدريك هوج، وبيتر هيد، وجيف هولينقتون، وديفيد كيركلاند، وآنا ليو، وليونورا أوبنهايم، وآنا ماريا أورو، وتشارلي باتون، ويانيف بيير، وجوناثان بوريت، ومالكولم سميث، ونيل توماس، ومايك تونكين، وبيل واتس، وغراهام وايلز. لم أقابل أبداً ديفيد ماكاي، ولكنه قدم لنا خدمة عظيمة بتأليفه كتاباً رائعاً يتضمن بحوثاً عميقة مدعومة بالأرقام. اعتمدت على عمله كثيراً في الفصل الخاص بالطاقة.

وأود أن أشكر شركة ڤريمشاو على الفرص التي تهيأت لي أثناء عملي معهم، وعلى دور المجموعة الخضراء للبحث والتطوير التي كانت بحق منتدى للأفكار. لا بد وإن كنت متأخراً أن أشكر آلان جونز وهو من علمني الأحياء في كلية الملك جيمس، والذي بذل جهداً وحماساً في تدريس المادة وساعدني دون أن يدرك في تحديد مساري المهني. وأنا ممتن أيضاً لوالدي في تنشئتي هندسياً وفنياً وممتن أيضاً لعمي الذي أهداني كتاباً من مطبوعات نادي روما للكتب بعنوان «مخطط من أجل البقاء» عندما كنت صغيراً في بدايات سنوات المراهقة وكان له عظيم الأثر في تطوير مستقبلي.

وأود أن أشكر أيضاً عدداً لا يحصى من العلماء الذين استمروا في الكشف عن أسرار الطبيعة والذين يعملون في المجالات ذات العلاقة بالبيئة، من أمثال: علماء المناخ الذين يعملون بأعلى درجات الإخلاص وما زالوا كذلك بالرغم من هجوم وسائل الإعلام الموجه ضد النتائج التي وصلوا إليها. يبدو أنه بعد مضي ٢٠٠ عام على عصر التنوير نجد أنفسنا في الطريق إلى الظلام مرة أخرى، حين نضع المشككين غير المؤهلين في منزلة العلماء في مسائل المناخ، وحين يضع اقتصاديون ضيقو النظرة سياسات عامة لا تأبه برأس المال الطبيعي أو بقيمة طويلة الأجل. نحن بحاجة إلى سعة معرفة وتعاون متبادل أكثر من أي وقت مضى خلال العقود المقبلة.

المراجع

Derek Abbott, 'Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy Needs?', *Proceedings of the IEEE*, Vol. 98, No. 1, January 2010, pp.42–66

Hugh Aldersey-Williams, *Zoomorphic: New Animal Architecture*, London, Laurence King Publishing Ltd, 2003. ISBN 1 85669 340 6

Robert Allen (ed.), *Bulletproof Feathers: How Science Uses Nature's Secrets to Design Cutting-Edge Technology*, Chicago and London, University of Chicago Press, 2010. ISBN-13: 978-0-226-01470-8

Ray Anderson, *Confessions of a radical industrialist*, London, Random House Business Books, 2009. ISBN 978-1-847-94028-5

Anon, (no author credit) 'Whales and dolphins influence new wind turbine design', *Science Daily®*, 8 July 2008. http://www.sciencedaily.com/releases/2008/07/080707222315.htm

Anon, (no author credit) 'Offshore Wind Power and Wave Energy Devices Create Artificial Reefs', *Science Daily®*, 19 January 2010 http://www.sciencedaily.com/releases/2010/01/100118132130.htm

Michael F. Ashby, *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2009. ISBN: 978-1-85617-608-8

Patrick Bellew, 'Going Underground', *Ingenia*, Issue 28, September 2006, pp.41–6

B. Bensaude-Vincent, H. Arribart, Y. Bouligand, and C. Sanchez, 'Chemists and the school of nature', *New Journal of Chemistry*, 2002, 26, pp.1–5. Received (in Montpellier, France) 13 September 2001, accepted 26 November 2001, first published as an Advance Article on the web 3 January 2002

Janine Benyus, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York, Harper Collins, 1998. ISBN 0-688-16099-9

Janine Benyus and Amory Lovins, 'Natural Capitalism', course at Schumacher College, 23 to 26 September 2003

A. Beukers and E. van Hinte, *Lightness: The inevitable renaissance of minimum energy structures*, Rotterdam, 010 Publishers, 1999. ISBN 90-6450-334-6

J. Chilton, B. S. Choo and O. Popovi, 'Morphology of Some Three-Dimensional Beam Grillage Structures in Architecture and Nature', *Natürliche Konstruktionen 9, Evolution of Natural Structures*, Proceedings of Third International Symposium of Sonderforchungsbereich 230, Stuttgart, pp.19–24

S. Craig, 'Biomimetics design tool used to develop new components for lower energy buildings', unpublished dissertation, School of Engineering and Design, Brunel University, Uxbridge, Middlesex, September 2008

S. Craig, D. Harrison, et al. 'BioTRIZ suggests radiative cooling of buildings can be done passively by changing the structure of roof insulation to let longwave infrared pass'. *Journal of Bionic Engineering*, 5(1): 55–66

J. P. E. C. Darlington, 'The structure of mature mounds of the termite Macrotermes michaelseni in Kenya', *Insect Science and its Applications*, 6, 1986, pp.149–56

D. S. A. De Focatis, and S. D. Guest, 'Deployable membranes designed from folding tree leaves', *Philosophical Transactions of The Royal Society*, London, A 2002 360, pp.227–38 (retrieved from rsta.royalsocietypublishing.org on 21.01.11

Pooran Desai, *One Planet Communities: A real-life guide to sustainable living*, Chichester, West Sussex, John Wiley & Sons Limited, 2010. ISBN 978-0-470-71546-8

Shiva Dindyal 'The sperm count has been decreasing steadily for many years in Western industrialised countries: Is there an endocrine basis for this decrease?', *The Internet Journal of Urology* 2004, Volume 2 Number 1, ISSN: 1528-8390 (retrieved on 24.01.11). http://www.ispub.com/ostia/index.php?xmlFilePath=journals/iju/vol2n1/sperm.xml

G. K. Dosier, 'Biologically Manufactured Building Materials', abstract submitted for 'Geobiology in Space Exploration' Workshop at Université Cady Ayyad, Ibn Battuta Centre, Morocco, 19 January 2011

Carolyn Dry, 'Development of self-repairing concrete', Natural Process Design Inc. website (accessed 24.01.11) http://www.naturalprocessdesign.com/Tech_Concrete.htm

Karl von Frisch, *Animal Architecture*, London, Hutchinson, 1975. ISBN 0 09 122710 0

J. F. Gabriel. *Beyond the cube: the architecture of space frames and polyhedra*, London, John Wiley & Sons, Inc., 1997. ISBN 0-471-12261-0

Herbert Girardet, *Cities, People, Planet: Liveable Cities for Sustainable World*, Chichester, West Sussex, John Wiley & Sons Ltd., 2004. ISBN 0-470-85284-4

J. E. Gordon, *The New Science of Strong Materials*, London, Penguin Books Ltd, Second Edition, 1976. ISBN 0-14-013597-9

J. R. Gould and C. G. Gould, *Animal Architects: Building and the evolution of intelligence*, New York, Basic Books, 2007. ISBN-13:978-0-465-02782-8

David Grimm, 'Beetles may help battle blazes', *Science*, Vol. 305, 13 August 2004, p.940 (retrieved from www.sciencemag.org on 28.03.11)

S. D. Guest S. and Pellegrino, 'Inextensional Wrapping of Flat Membranes', in R. Motro and T. Wester (eds.), Proceedings of the First International Conference on Structural Morphology, Montpellier, France, 7–11 September, pp.203–15

Ernst Haeckel, *Art Forms from the Oceans*, Munich/Berlin/London/New York, Prestel Verlag, 2005. ISBN 3-7913-3327-5

D. X. Hammer, H. Schmitz, A. Schmitz, H. Grady Rylander A. J. and Welch, 'Sensitivity threshold and response characteristics of infrared detection in the beetle *Melanophila acuminata* (Coleoptera: Buprestidae)', *Comparative Biochemistry and Physiology – Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 128, Received 3 August 2000; revised 10 November 2000; accepted 17 November 2000. Available online 26 March 2001, pp.805–19

G. Hammond, C. Jones (Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, Bath University), 'Inventory of Carbon and Energy (ICE). Version 1.6a'. http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/ (accessed 26.01.11)

Mike Hansell, *Animal Architecture (Oxford Animal Biology Series)*, Oxford, Oxford University Press, 2005. ISBN 0-19-850752-6

Mike Hansell, *Built by Animals: The natural history of animal architecture*, Oxford, Oxford University Press, 2007. ISBN 978-0-19-920556-1

P. Hawken, A. Lovins and L. H. Lovins, *Natural Capitalism*, New York, Back Bay Books/Little, Brown and Company, 1999. ISBN 978-0-316-35300-7

Peter Head, 'Entering the Ecological Age', The Brunel Lecture 2008, The Institution of Civil Engineers 2008 Brunel International Lecture. http://www.arup.com/_assets/_download/72B9BD7D-19BB-316E-40000ADE36037C13.pdf (accessed 03.04.11)

M. Hensel, A. Menges and M. Weinstock, *Emergent technologies and design: Towards a biological paradigm for architecture*, Abingdon, Oxfordshire, and New York, Routledge, 2010. ISBN 10 0-415-49344-7

David Lloyd Jones, *Architecture and the Environment: Bioclimatic Building Design*, London, Laurence King Publishing Ltd, 1998. ISBN 1 85669 103 9

H. Jonkers, 'Bioconcrete', Technical University of Delft website (accessed 24.01.11). http://www.tnw.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=6ce46115-d4b8-4668-a1a4-74c09b6d34ee&lang=en (accessed 18.07.11)

J. Kimpian, 'PneuMatrix – the Architecture of Pneumatic Structures in the Digital World', unpublished PhD thesis dissertation http://kimpian.com/ (accessed 18.07.11)

M. J. King and J. F. V. Vincent, 'The mechanism of drilling by wood wasp ovipositors', *Biomimetics*, 3, 187–201

H. Kobayashi, B. Kresling and J. F. V. Vincent, 'The geometry of unfolding tree leaves' Proceedings of the Royal Society London, B265, 147–54

J. Y. Lee and Æ. S. J. Lee, 'Murray's law and the bifurcation angle in the arterial micro-circulation system and their application to the design of microfluidics', *Microfluidics and Nanofluidics*, Vol. 8, Number 1, 2010, pp.85–95

David J. C. MacKay, *Sustainable Energy – without the hot air*, Cambridge, UIT Cambridge Ltd, 2008. ISBN 978-0-9544529-3-3. Available free online from www.withouthotair.com (accessed 18.07.11)

Claus C. Mattheck, *Design in Nature – Learning from trees*, Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1998. ISBN 3-540-62937-8

W. McDonough and M. Braungart, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, New York, North Point Press, 2002. ISBN-13: 978-0-86547-587-8

Fiona McWilliam, 'Swat Team: Termite mound construction offers a lesson in natural ventilation for small buildings', *Building Sustainable Design*, September 2009, Vol. 1, no. 8, pp.35–7

Donella Meadows, 'Leverage Points: Places to intervene in a system', Hartland, Vermont, The Sustainability Institute, 1999. Available online at http://www.sustainer.org/pubs/Leverage_Points.pdf (accessed 03.04.11)

Tom Mueller, 'Biomimetics', *National Geographic*, April 2008. http://ngm.nationalgeographic.com/2008/04/biomimetics/tom-mueller-text/1

P. L. Nervi, *P. L. Nervi – New Structures*, London, The Architectural Press, 1963

P. L. Nervi, 'Considerations on the architecture of our time', transcript of the British Italian Society Leconfield Lecture by Pier Luigi Nervi, Pier Luigi Nervi archive folder held at the British Architectural Library, Portland Place, London

David W. Orr, *Design on the Edge: The Making of a High-Performance Building*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 2006

F. Otto, M. Ansell, B. Baier, M. Barnes, R. Blum, B. Burkhardt, M. Cook, D. Croome, M. Dickson, H. Drüsedau, S. Greiner, E. Happold, J. Harnach, B. Harris, E. Haug, B. Haug, J. Hennicke, J. Howell, I. Lidell, R. Münsch, E. Racah, C. Williams, E. Schauer and D. Schwenkel, *Institute for Lightweight Structures volumes IL1 to IL32*, published by Institut für leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart; School of Architecture and Building Engineering, University of Bath; Universität Essen, Gesamthochschule, Fachbereich Bauwesen, dates from 1971

Gunter Pauli, *The Blue Economy: 10 Years, 100 Innovations, 100 Million Jobs, Report to the Club of Rome*, Taos, New Mexico, Paradigm Publications, 2010. ISBN 978-0-912111-90-2

Yaniv Peer, 'Evolutionary Architecture: Reflections of Nature in a Digital World', unpublished student dissertation, Manchester Metropolitan University, 2007

Anton Peter-Fröhlich, 'SCST – Sanitation Concepts for Separate Treatment', website article, Berlin, Competence Centre, Berlin Water Company. Project funded by the framework of the LIFE programme of the European Union (LIFE03 ENV/D/000025) from 1 January 2003–31 December 2006. http://www.kompetenz-wasser.de/SCST.22.0.html?&L=1&type=title%3Daccelerate (accessed 18.07.11)

Kathryn Phillips, 'Beetles "hear" heat through pressure vessels', *Journal of Experimental Biology*, Vol. 211, no. (16):i–a (2008). First published online, 08 August 2008

Michael Pollan, *The Omnivore's Dilemma*, London, Bloomsbury Publishing PLC, 2006. ISBN 978-0-7475-8683-8

Jeffrey Sachs, *Common Wealth: Economics for a Crowded Planet*,

London, Penguin Books Ltd, 2008. ISBN 978-0-713-99919-8

A. E. Seago, P. Brady, J-P. Vigneron and T. D. Schultz, 'Gold bugs and beyond: a review of iridescence and structural colour mechanisms in beetles (Coleoptera)', *Journal of the Royal Society Interface*, 6, 2009, S165–S184, doi:10.1098/rsif.2008.0354.focus. Published online 28 October 2008

Hermann Scheer, *The Solar Economy: Renewable Energy for a Sustainable Global Future*, London, Earthscan, 2002. ISBN: 1-84407-075-1

Tom Shelley, 'Rapid manufacturing set to go mainstream', *Eureka* magazine, 14 November 2007, http://www.eurekamagazine.co.uk/article/12049/Rapid-manufacturing-set-to-go-mainstream.aspx (accessed 03.04.11)

Lynn Skinner, 'Biomimetics and its Potential Role in Architecture', unpublished student dissertation, The Scott Sutherland School, Faculty of Design and Technology, Robert Gordon University, Aberdeen, January 2005

R. C. Soar and J. S. Turner, 'Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building', First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (I3CON), Loughborough University, 14–16 May 2008

Carolyn Steel, *Hungry City: How Food Shapes Our Lives*, London, Chatto & Windus, 2008. ISBN 9780701180379

Nicholas Stern, *A Blueprint for a Safer Planet: How to manage climate change and create a new era of progress and prosperity*, London, Bodley Head, 2009. ISBN 9781847920379

David Thomas, 'The Mineral Depletion of Foods Available to Us as a Nation (1940–2002) – A Review of the 6th Edition of McCance and Widdowson', *Nutrition and Health*, Vol. 19, 2007, pp.21–55. 0260-1060/07

D'Arcy Thompson, *On Growth and Form*, abridged edition, edited by John Tyler Bonner, Cambridge, Cambridge University Press, 1961. ISBN 0 521 09390 2

J. Scott Turner, *The Extended Organism: the Physiology of Animal-Built Structures*, Cambridge, Massachusetts/London, Harvard University Press, 2000

J. F. V. Vincent, 'Deployable Structures in Nature', listed as a document from the Centre for Biomimetics, The University of Reading, UK, but accessed from University of Bath, Biomimetics and Natural Technologies website. http://www.bath.ac.uk/mech-eng/biomimetics/DeployableStructs.pdf (retrieved 21.01.11)

J. F. V. Vincent, 'Survival of the cheapest', *Materials Today*, December 2002, pp.28–41

J. F. V. Vincent, 'Biomimetics: a review', *Proc. IMechE Part H: J. Proceedings Engineering in Medicine*, 223, 919–39

J. F. V. Vincent and P. Owers, 'Mechanical design of hedgehog spines and porcupine quills', *Journal of Zoology*, 210, pp.55–75

Steven Vogel, *Life in Moving Fluids: The Physical Biology of Flow*, Chichester, West Sussex, Princeton University Press, 1994. ISBN 0-691-02616-5

Steven Vogel, *Cats' Paws and Catapults: Mechanical worlds of Nature and People*, New York, W. W. Norton & Company, 1998. ISBN 0-393-04641-9

Robert Webb, 'Offices that breathe naturally', *New Scientist*, issue 1929, 11 June 1994.

T. H. Wegner and P. E. Jones, 'Advancing cellulose-based nanotechnology', *Cellulose* (2006) 13:115 –18

Edward O. Wilson, *Biophilia*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1984. ISBN 0-674-07442-4

J. Woodhuysen and J. Kaplinsky, *Energise*, London, Beautiful Books Limited, 2009. ISBN 9781905636273

Broadcasts / videos / talks

Steve Corbett, Green Oak Carpentry, talk delivered at the launch of the 2011 Wood Awards, The Building Centre, London, 24 March 2011

Henk Jonkers, *Material World*, BBC Radio 4, 3.30pm, 2 September 2010; programme about self-repairing concrete

Hans Rosling, 'Hans Rosling on global population growth', TED talk, filmed June 2010, posted July 2010. http://www.ted.com/talks/hans_rosling_on_global_population_growth.html

Paul Stamets, 'Six ways that mushrooms can save the world', TED Talk, filmed March 2008, posted May 2008. http://www.ted.com/talks/paul_stamets_on_6_ways_mushrooms_can_save_the_world.html

Interviews

Patrick Bellew, interview 9 December 2010

David Crooks, interview 3 December 2010

Simon Guest, telephone interview, 8 February 2011

Peter Head and Malcolm Smith, interview 22 December 2010

Neil Thomas, interview 1 February 2010

Tonkin Liu Architects, interview 17 December 2010

Julian Vincent, numerous meetings and telephone conversations

Websites

Competence Centre, Berlin Water Company: http://www.kompetenz-wasser.de/SCST.22.0.html?&L=1&type=title%3Daccelerate

BioPower Systems Pty Ltd: www.biopowersystems.com

Carbon8: http://www.c8s.co.uk/technology.php

Andres Harris, Architect: http://www.andres.harris.cl/?page_id=156

International Energy Agency (key world energy statistics): http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf

Living Machines (water treatment systems): http://www.livingmachines.com/ (accessed 25.01.11)

SolaRoof (bubble insulated roof technology): http://www.solaroof.org/wiki/SolaRoof/SolaRoofTech (accessed 25.01.11)

الملاحظات

1. The origins of the term are described in some detail by Bernadette Bensaude-Vincent, Hervé Arribart, Yves Bouligand and Clément Sanchez in 'Chemists and the school of nature', *New Journal of Chemistry*, 26, 2002, pp.1–5.
2. Quoted in Hugh Aldersey-Williams, *Zoomorphic: New Animal Architecture*, London, Laurence King, 2003, p.22.
3. Quoted during course at Schumacher College, 'Natural Capitalism', delivered by Janine Benyus and Amory Lovins, 23–26 September 2003. Note that Janine Benyus more recently refers to 'life's genius' rather than 'nature's genius': http://www.biomimicryinstitute.org/about-us/what-is-biomimicry.html (accessed 04.07.11).
4. Edward O. Wilson, *Biophilia*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1984.
5. Steven Vogel explores this issue at some length in *Cat's Paws and Catapults: Mechanical worlds of Nature and People*, New York, W. W. Norton & Company, 1998, pp.18 and 300.
6. The claims for the distances over which the beetle can detect a forest fire vary wildly, with some sources claiming up to 80 km (David Grimm, 'Beetles may help battle blazes', *Science*, 13 August 2004, Vol. 305, p. 940 – retrieved from www.sciencemag.org on 28.03.11), while others claim 10 km (Kathryn Phillips, 'Beetles "hear" heat through pressure vessels', *Journal of Experimental Biology*, first published online 8 August 2008) and others still refer to distances of 1 km (D. X. Hammer, H. Schmitz, A. Schmitz, Rylander, H. Grady and A. J. Welch, 'Sensitivity threshold and response characteristics of infrared detection in the beetle Melanophila acuminata (Coleoptera: Buprestidae)', *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology* 128, pp.805-19). I have used the 10 km figure.
7. Vogel, *Cats' Paws*, *op. cit.* explores this issue at some length in Chapter 12. I have summarised from his excellent description of historical examples.
8. J. F. V. Vincent, and M. J. King, 'The mechanism of drilling by wood wasp ovipositors', *Biomimetics* 3, pp.187–201.
9. J. F. V. Vincent and P. Owers, 'Mechanical design of hedgehog spines and porcupine quills', *Journal of Zoology* 210, 1986. pp.55–75.
10. I am grateful to Adriaan Beukers and Ed van Hinte for allowing me to produce this illustration based on their work in A. Beukers and E. van Hinte, *Lightness: The inevitable renaissance of minimum energy structures*, Rotterdam, 010 Publishers, 1999.
11. *'Considerations on the architecture of our time'* – Transcript of the British Italian Society Leconfield Lecture by Pier Luigi Nervi.
12. Quoted in obituary in *The Daily Telegraph*, 10 January 1979 – original source not given.
13. Some gridshells have achieved factor-15 savings in resource use. The Weald and Downland Gridshell by Edward Cullinan Architects with Buro Happold and Green Oak Carpentry weighed only 6 tonnes compared to an estimated 100 tonnes for a traditional barn of equivalent size. Source: Steve Corbett, Green Oak Carpentry, Launch of the 2011 Wood Awards, The Building Centre, 24 March 2011.
14. Quoted in Mike Hansell, *Animal Architecture (Oxford Animal Biology Series)*, Oxford, Oxford University Press, 2005, p.145.
15. Andres Harris, Architect: http://www.andres.harris.cl/?page_id=156 (retrieved 13.02.10).
16. See Claus C. Mattheck, *Design in Nature – Learning from trees*, Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1998.
17. Vogel, *Cats' Paws*, *op. cit.*, pp. 431–2.
18. 'Buttress' is the normal way people refer to these tree structures, but it is a misnomer because they actually work in tension rather than compression. Just as with a guy rope, shifting the connection point further from the base of the upright gives greater resistance to overturning.
19. Hansell, *Animal Architecture*, *op. cit.*, p.134.
20. Otto, et al., *Institute for Lightweight Structures volumes IL1 to IL32* (dates from 1971), published by Institut für leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart, School of Architecture and Building Engineering, University of Bath, Universität Essen, Gesamthochschule, Fachbereich Bauwesen.
21. 'Anticlastic' is a term that refers to a surface that is curved in opposite ways in two directions like a saddle.
22. Vogel, *Cats' Paws*, *op. cit.*, p.148.
23. Refer to Julian Vincent's paper 'Deployable Structures in Nature', listed as a document from the Centre for Biomimetics, The University of Reading, but accessed from University of Bath, Biomimetics and Natural Technologies website http://www.bath.ac.uk/mech-eng/biomimetics/DeployableStructs.pdf (retrieved 21.01.11).
24. See Chilton, et al., 'Morphology of Some Three-Dimensional Beam Grillage Structures in Architecture and Nature', *Natürliche Konstruktionen 9, Evolution of Natural Structures*, Third International Symposium of Sonderforchungsbereich 230, Stuttgart, pp.19-24.
25. Mike Hansell, *Built by Animals: The Natural History of Animal Architecture*, Oxford, Oxford University Press, 2007, pp.76–7.
26. Ibid., pp.19–20.
27. Tom Mueller, 'Biomimetics', *National Geographic*, April

2008. http://ngm.nationalgeographic.com/2008/04/biomimetics/tom-mueller-text/1 (accessed 03.04.11)

28 Janine Benyus, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York, Harper Collins, 1998, p.97.

29 J. F. V. Vincent, 'Biomimetics: a review', *Proc. IMechE Part H: J. Engineering in Medicine*, 223, 919–39.

30 Three European studies show very consistent trends of an approximate 50 per cent decline in sperm counts in European males since 1938. These are summarised, together with other studies, by Shiva Dindyal MBBS (London) BSc. (Hons) Imperial College School of Medicine, 'The sperm count has been decreasing steadily for many years in Western industrialised countries: Is there an endocrine basis for this decrease?' *The Internet Journal of Urology*, Volume 2 Number 1, 2004, http://www.ispub.com/ostia/index.php?xmlFilePath=journals/iju/vol2n1/sperm.xml (retrieved on 24.01.11)

31 Much of this section is based on unpublished work by Graham Dodd of Arup Research and Development.

32 Hansell, *Built*, *op. cit.*, p.75.

33 'Thixotropy' is defined in Chambers dictionary as 'the property of showing a temporary reduction in viscosity when shaken or stirred'. An example can be found by standing at the shoreline of a beach and vibrating your foot in the sand. Seawater flows between the sand particles such that the combination behaves like a liquid and your foot can be easily pushed down into the sand. If you stop vibrating your foot, the sand immediately returns to a solid state.

34 Robert Allen (ed.), *Bulletproof Feathers: How Science Uses Nature's Secrets to Design Cutting-Edge Technology*, Chicago and London, University of Chicago Press, 2010. Refer to chapter by Vincent, p.134.

35 J. E. Gordon, *The New Science of Strong Materials*, London, Penguin Books Ltd, Second Edition, 1976, p.118.

36 Tom Shelley, 'Rapid manufacturing set to go mainstream', *Eureka* magazine, 14 November 2007. http://www.eurekamagazine.co.uk/article/12049/Rapid-manufacturing-set-to-go-mainstream.aspx (accessed 03.04.11).

37 T. H. Wegner and P. E. Jones, 'Advancing cellulose-based nanotechnology', *Cellulose* (2006) 13:115–18.

38 I have only been able to source popular science articles and an abstract submitted by Dosier (G. K. Dosier, 'Biologically Manufactured Building Materials', an abstract submitted for 'Geobiology in Space Exploration' Workshop at Université Cady Ayyad, Ibn Battuta Centre, Morocco on 19 January 2011. http://www.irsps.unich.it/education/geoexp2011/form/abstract1.php?absrd2011+46 (retrieved 02.04.11). Some writers have claimed that the process emits substantial quantities of ammonia as a by-product, which could prove to be problematic.

39 Dr. Carolyn Dry, 'Development of self-repairing concrete', Natural Process Design Inc. website (accessed 24.01.11) http://www.naturalprocessdesign.com/Tech_Concrete.htm.

40 H. Jonkers, 'Bioconcrete', Technical University of Delft website (accessed 24.01.11). http://www.tnw.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=6ce46115-d4b8-4668-a1a4-74c09b6d34ee&lang=en

41 If we attempt to quantify the energy savings achievable, we could compare the embodied energy of, say, aluminium with wood and then assume that rapid manufacturing with cellulose could create structural elements with, as an educated guess, a sixth of the embodied energy of a solid timber section. The diagrams earlier in the chapter explaining shape and hierarchy showed that it is relatively straightforward to reduce the weight of an element to 14 per cent or even 5 per cent of its original mass. We then need to assume a certain amount of energy involved in the RM process itself. A factor-6 saving for RM manufacturing with cellulose relative to solid timber feels relatively conservative. Using embodied-energy figures (from Prof. Geoff Hammond, Craig Jones, Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, Bath University, 'Inventory of Carbon and Energy (ICE). Version 1.6a' http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/) of 157.1 MJ/kg for aluminium and 9.4 MJ/kg for timber, and the assumed efficiencies achieved through RM, this would suggest an embodied-energy reduction from 157.1 down to 1.57 MJ/kg (a factor-100 increase in resource efficiency).

42 Allen (ed.), *op. cit.*, refer to chapter by Vincent, pp.134–71.

43 The original source for this remark is Justus von Liebig in *Agriculturchemie*. The historical debate about London's sewers is described at some length by Carolyn Steel in *Hungry City*, London, Chatto & Windus, 2008, pp.249–81; and by Herbert Girardet in *Cities, People, Planet: Liveable cities for a sustainable world*, Chichester, West Sussex, John Wiley & Sons, 2004, p.77.

44 Lovins, 'Natural Capitalism' course, *op. cit.* Also in Benyus, *Biomimicry*, *op. cit.*

45 Benyus, 'Natural Capitalism' course, *op. cit.* Also in Benyus, *Biomimicry*, *op. cit.*

46 Benyus, 'Natural Capitalism' course, *op. cit.*

47 There are some limited exceptions to this. Arguably fossil fuels are an example of waste, and it could be seen as ironic that we are currently getting ourselves into difficulties as a direct result of using waste from ancient ecosystems.

48 *Brewing a future* – Zeri Emissions Research Initiative http://www.sdearthtimes.com/et0101/et0101s7.html (retrieved 19.09.10).

49 This work has been pioneered by Prof. Shuting Chang at the Chinese University of Hong Kong. Refer to Gunter Pauli, *The Blue Economy*, Taos, New Mexico, Paradigm Publications, 2010, pp.82–6.

50 Frustratingly, Gunter Pauli does not provide any citations in *The Blue Economy* (*op. cit.*), for the claimed efficiency benefits, so it is difficult to verify the figures.

51 ibid, p.25. The author documents a large number of schemes that have employed these ideas.

52 Steel, *op. cit.* It is difficult to single out particular passages as this is really the essence of the whole book. The concluding chapter on 'Sitopia' provides a useful summary, but the

whole book is well worth reading.

53 Desai, Pooran, *One Planet Communities: A real-life guide to sustainable living*, Chichester, West Sussex, John Wiley & Sons Limited, 2010, p.103.

54 'Living machines' is a trademark for a form of biological wastewater treatment initially developed by John Todd and now marketed as a product by Worrell Water Technologies, LC in Charlottesville, Virginia.

55 The technology has been developed by Carbon8, and is undergoing further research and development http://www.c8s.co.uk/technology.php

56 The idea of vertical farms, which has been given extensive coverage in recent years, suffers from exactly these kinds of functional challenges. Agriculture is almost totally dependent on light, and to substitute natural light with artificial light is both a financial and a practical challenge. George Monbiot has commented on the financial realities: http://www.monbiot.com/archives/2010/08/16/towering-lunacy/. The schemes designed by Dickson Despommier show vertical farms supplied with energy from photovoltaic panels, and if one assumed the most efficient PV cells commercially available (about 15 per cent) and factored in the energy losses from the most efficient LED lights then the required area of PV would be roughly ten times the cultivated area of the vertical farm. Consequently, urban farming is only likely to work using natural light, which means either horizontally or using terraces orientated towards the south.

57 Michael Pollan, *The Omnivore's Dilemma*, London, Bloomsbury Publishing PLC, 2006, pp.67–8.

58 Pauli, *op. cit.*, p.xxxi.

59 Detroit provides a good example of what can happen when a whole city is dependent on one industry. The collapse of car manufacturing has left much of the city as a wasteland.

60 'Peak oil' was a term coined by geologist M. King Hubbert, who studied the productivity of oil wells over time. He found that all followed a bell-curve distribution and that the peak of production was the point at which the economics changed significantly, because from then on there would be steadily decreasing supply coupled with increasing amounts of energy required to extract the oil. Extending the theory to global oil reserves suggested dire economic circumstances once the global peak is reached. Perhaps the most significant thing about peak-oil theory is that it showed persuasively that the point at which the resource peaks is more significant than the point at which it becomes exhausted.

61 The team's analysis extended to far more than water (they analysed the characteristics of the biome in terms of water collection, filtration and storage, solar gain and reflectance, carbon sequestration, evapo-transpiration, nutrient cycling, biodiversity, soil building and temperature amongst many other biological processes) and they applied biomimicry to every aspect of the design process. I have focused on the water story because it is a particularly good example of how to transform a problem of overabundance into an ingenious solution.

62 David Thomas, 'The Mineral Depletion of Foods Available to Us as a Nation (1940–2002) – A Review of the 6th Edition of McCance and Widdowson', *Nutrition and Health*, Vol. 19, 2007, pp.21–55. 0260–1060/07. http://www.mineralresourcesint.co.uk/pdf/Mineral_Depletion_of_Foods_1940_2002.pdf

63 These already exist and have been implemented on certain pioneering schemes by the Berlin Water Company's Competence Centre http://www.kompetenz-wasser.de/SCST.22.0.html?&L=1&type=title%3Daccelerate

64 Refer to the Living Machines website 'history' page for more information and other pages for further technical detail. http://www.livingmachines.com/about/history/

65 Steven Vogel, *Life in Moving Fluids: The Physical Biology of Flow*, Chichester, West Sussex, Princeton University Press, 1994, pp.317–21.

66 Jung Yeop Lee and Æ Sang Joon Lee, 'Murray's law and the bifurcation angle in the arterial micro-circulation system and their application to the design of microfluidics', *Microfluidics and Nanofluidics*, Vol. 8, Number 1, 2010, pp.85–95.

67 Thermophiles live at temperatures above 100 °C in submarine volcanic vents.

68 Hansell, *Animal Architecture*, *op. cit.*, p.4.

69 When I say 'loosely', I do not mean this in a highly critical way – only to explain why I have not gone into more detail to explain the source of inspiration and how the function is delivered in nature.

70 A well-known and oft-quoted example of this is the space pen that NASA spent millions of dollars developing. The end result was unwieldy, containing an ink pump to make up for the absence of gravity, and unreliable. The Russians, by contrast, just took a pencil.

71 This was primarily the work of Julian Vincent and his colleagues, Drs Olga and Nikolay Bogatyrev, at the University of Bath. It is not possible to give a full explanation of TRIZ or BioTRIZ in the limited space available in this book, so those intrigued by these powerful methodologies can read more in the chapters written by Julian Vincent in Allen (ed.), *op. cit.*

72 Robert Webb, 'Offices that breathe naturally', *New Scientist*, issue 1929, 11 Juen 1994 and J. P. E. C. Darlington, 'The structure of mature mounds of the termite Macrotermes michaelseni in Kenya', *Insect Science and its Applications*, 6, 1986, pp.149–56.

73 In this vein, anyone interested in making a termite-inspired building would be well advised to read J. Scott Turner and Rupert C. Soar, 'Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building', First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (I3CON), Loughborough University, 14–16 May 2008, and any more recent papers they may have published.

74 ibid.

75 David J. C. MacKay, *Sustainable Energy – without the hot air*,

Cambridge, UIT Cambridge Ltd, 2008.

76 There are a very limited number of exceptions to this, such as thermophiles that have evolved to live in deep-sea volcanic vents.

77 The earth continuously receives about 174,000 Terawatts (TW) of energy from the sun, of which 30 per cent is reflected back into space, 19 per cent is absorbed by clouds and 89,000 TW reaches the surface. Our average annual energy consumption between 2008 and 2010 was very close to 15 TW. The earth therefore receives 11,600 times as much energy as we use, and, at the surface, we receive 5,933 times as much as we consume. Sources: IEA Key World Energy Statistics 2010, http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf; Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption#cite_note-EIA-0

78 MacKay, *op. cit.*

79 One of the most thorough and impartial assessments of energy options is MacKay, *op. cit.*

80 Derek Abbott, 'Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy Needs?' Proceedings of the IEEE, Vol. 98, No. 1, January 2010, pp.42–66.

81 Hermann Scheer, *The Solar Economy: Renewable Energy for a Sustainable Global Future*, London, Earthscan, 2002.

82 Strictly speaking, geothermal energy is not renewable but the size of the resource compared to the most optimistic rate at which we could extract the energy would still result in the source lasting for hundreds of millions of years.

83 Anon (no author credit), 'Whales and dolphins influence new wind turbine design', *Science Daily®*, 8 July 2008. http://www.sciencedaily.com/releases/2008/07/080707222315.htm

84 Vogel, *Cats' Paws, op. cit.*, pp.96–100.

85 If the blades deflected along their length, then clearly they would need to be on the downwind side of the mast in order to avoid fouling.

86 Anon (no author credit), 'Offshore Wind Power and Wave Energy Devices Create Artificial Reefs' *Science Daily®*, 19 January 2010.

87 Source: http://www.worldometers.info/cars/

88 Source: http://en.wikipedia.org/wiki/shipbuilding

89 Some readers might legitimately question the economic viability of creating the solar economy. The economic situation is complicated by a number of factors. We will need to spend large sums anyway on upgrading our creaking grids and power stations. Appropriate investment in research and development, coupled with economies from scaling up manufacturing and deployment of renewable technologies, would radically reduce costs. We also need to consider which costs are externalised from conventional sources of energy (the damage cost of carbon emissions and the cost of oil-related military operations, to name just two) and what benefits are generally overlooked in renewable-energy technologies. A full economic assessment would need to take account of all these issues. The obstacles to creating the solar economy are mainly political, and initiatives like the Mediterranean Solar Plan are the first signs of what will hopefully gather great momentum.

90 This anecdote was relayed to me by Professor Patrick Hodgkinson, and between his retelling and mine it may be that some inaccuracies have crept in.

91 I have paraphrased the description that Herbert Girardet gives in *Cities, People, Planet, op. cit.*, pp.45–6.

92 See A. E. Seago, P.,Brady, J-P. Vigneron and T. D. Schultz, 'Gold bugs and beyond: a review of iridescence and structural colour mechanisms in beetles (Coleoptera)', *Journal of the Royal Society Interface*, 6, 2009, S165–S184, doi:10.1098/rsif.2008.0354.focus. Published online 28 October 2008.

93 Benyus, *Biomimicry, op. cit.*, pp.253–4.

94 Within the limitations of this book it is not possible to do justice to the depth of thought and design input that the Arup team invested in Dong Tan and Wanzhuang, so I would encourage those readers that want to find out more to read Peter Head, 'The Brunel Lecture 2008: Entering the Ecological Age' http://www.arup.com/_assets/_download/72B9BD7D-19BB-316E-40000ADE36037C13.pdf and Benyus, *Biomimicry, op. cit.*, Chapter 7.

95 Ecological footprinting was developed by Mathis Wackernagel – see intro of Head, *op. cit.*

96 ibid., p.61.

97 Girardet, *op. cit.*, p.11.

98 Head, *op. cit.*, p.18.

99 Ray Anderson, *Confessions of a radical industrialist*, London, Random House Business Books, 2009, p.9.

100 *Interface Sustainability Report*, 1997.

101 P. Hawken, A. Lovins and L. H. Lovins, *Natural Capitalism*, New York, Back Bay Books/Little, Brown and Company, 1999, p.133.

102 Anderson, *op. cit.*, p.4.

103 Hawken, Lovins and Lovins made this observation in Hawken, et al., *op. cit.*, p.170.

104 Julian Vincent makes an observation similar to this in 'Survival of the cheapest', *Materials Today*, December 2002, pp.28–9.

105 Hans Rosling, 'Hans Rosling on global population growth', TED talk, filmed June 2010, posted July 2010. http://www.ted.com/talks/hans_rosling_on_global_population_growth.html.

106 Donella Meadows, 'Leverage Points: Places to intervene in a system', Hartland, Vermont, The Sustainability Institute, 1999. Available online at http://www.sustainer.org/pubs/Leverage_Points.pdf

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي – إنجليزي

أ

ارتباط مع الطبيعة	Biophilia
استفادة من الطبيعة	Bio utilization
الألفية	Millennia
النمل الأبيض ذي البوصلة	Amitermes Meridionalis
اجهاد	Stresses
إستنباط تصميم جيد من الطبيعة	Biomimtics
إشعاع	Radiation
أزيز	Buzzing Sound
أسطح إنشائية مستوية	Planar Surfaces
أسماك ذات خياشيم مصفحة	Elasmobranchs
أسماك مضلعة	Boxfishs
أشواك عشبة الأرقطيون	Burdock burrs
أصداف	Shells
ألياف كتان	Linen Fibres

ب

بناء قشري مثقب	Shell-lace Structure

ت

تأقلم	Adaptation
تبخير	Evaporation
تجسيد فني للطبيعة	Biomorphism
تشريح عظام طرفية لجناح النسر	Vulture›s metacarpal
تصنيع سريع	(Rapid manufacturing (RM
تكيف تراكمي	Adaptive accretion
تلال النمل الأبيض	Termite Mounos
توازن بيئي بحري	Marine ecosystems
توازن مع المحيط البيئي	Homoeostasis
توصيل	Conduction
تيار ثابت عالي الجهد	(High-Voltage Direct Current (HVDC
تيار متردد عالي الجهد	(High-Voltage Alternating Current (HVAC
ثورة صناعية	Industrial Revolution

	ج	
Warren Truss		جائز وارن
	ح	
Photovoltaic (PV) Solar Farm		حقول خلايا الضوء الشمسي
(Concentrated Solar Power (CSP		حقول طاقة شمسية مركزة
Closed Loop Solution		حلول حلقية مغلقة
Linear Solutions		حلول خطية
Convection		حمل
	خ	
Bio-mytholoical		خرافة حيوية
Ferro- Cemento		خرسانة مسلحة
Thermo Wood		خشب معالج حراريا
Beetle		خنفساء
Melanophila Acuminata		خنفساء اللحاء
	د	
Wasp		دبور
Trigonopsis		دبور الطين
Coupled Thermal Mass		دمج كتلة حرارية
	ر	
Moluscs		رخويات
	ز	
Reptile		زاحف
Amazon Water Lily		زنبقة الأمازون المائية
	س	
Tilapia Fish		سمك البلطي
Carp Fish		سمك الشبوط
Shark		سمك القرش
	ش	
Spider Webs		شباك بيوت العناكب
Ocotea foeten		شجرة الغار
Acacia totilis		شجرة المظلة الشائكة
Mountain Ash		شجرة غبيراء الحابلين
Velcro		شريط فيلكرو للتثبيت
Reefs		شعب مرجانية

ص

Biorock	صخور حيوية
Arachnothera Longirostra	صياد العناكب

ط

Low-Energy	طاقة منخفضة
Chaetura Pelagica	طائر السمامة
Aegithalos Caudatus	طائر القرقف طويل الذيل
Ploceus Cucllatus	طائر النساج
Nature	طبيعة

ع

Polygons	عجينة بوليمر مرنة
Ecological Age	عصر إيكولوجي (بيئي)
Biology	علم الأحياء
Architecture	عمارة
Naval Architecture	عمارة البحار

غ

Atmosphere	غلاف جوي
Lithosphere	غلاف صخري

ف

Decoupled Thermal Mass	فصل الكتلة الحرارية
Bubbles	فقاعات

ق

Domes	قباب
Seashells	قواقع بحريية
Abalone	قوقعة أذن البحر

ل

Wood Pulp	لحاء الخشب

م

Deplyable Structures	مباني قابلة للتمدد والانكماش أو التوسع والانقباض
Abundant	متوفر ومهمل
Biomimicry	محاكاة الطبيعة
Sustainable	مستدام
Axiom of Uniform Stress	مسلمة الإجهاد المنتظم
Tension Structures	منشئآت الشد

منشآت منفوخة	Inflatable Structures
منشآت هوائية	Pneumatic Structures

ن

نبات شبيه الحجر	Lithops
نسيج وعائي	Vascular Tissue
نفايات	Wastes
نموذج استخراجي	Extraactive Model

هـ

هندسة بيلوجية	Bionics
هياكل تعاضد إنشائي	Reciprocating Structures
هياكل عظمية	Skeletons

ثانياً: إنجليزي - عربي

A

Abalone	قوقعة أذن البحر
Abundant	متوفر ومهمل
Acacia totilis	شجرة المظلة الشائكة
Adaptation	تأقلم
Adaptive accretion	تكيف تراكمي
Aegithalos Caudatus	طائر القرقف طويل الذيل
Amazon Water Lily	زنبقة الأمازون المائية
Amitermes Meridionalis	النمل الأبيض ذي البوصلة
Arachnothera Longirostra	صياد العناكب
Architecture	عمارة
Atmosphere	غلاف جوي
Axiom of Uniform Stress	مسلمة الإجهاد المنتظم

B

Beetle	خنفساء
Bio utilization	استفادة من الطبيعة
Biology	علم الأحياء
Biomimicry	محاكاة الطبيعة
Biomimtics	إستنباط تصميم جيد من الطبيعة
Biomorphism	تجسيد فني للطبيعة
Bio-mytholoical	خرافة حيوية
Bionics	هندسة بيلوجية

Biophilia	ارتباط مع الطبيعة
Biorock	صخور حيوية
Boxfishs	أسماك مضلعة
Bubbles	فقاعات
Burdock burrs	أشواك عشبة الأرقطيون
Buzzing Sound	أزيز

C

Carp Fish	سمك الشبوط
Chaetura Pelagica	طائر السمامة
Closed Loop Solution	حلول حلقية مغلقة
(Concentrated Solar Power (CSP	حقول طاقة شمسية مركزة
Conduction	توصيل
Convection	حمل
Coupled Thermal Mass	دمج كتلة حرارية

D

Decoupled Thermal Mass	فصل الكتلة الحرارية
Deplyable Structures	مباني قابلة للتمدد والانكماش أو التوسع والانقباض
Domes	قباب

E

Ecological Age	عصر إيكولوجي (بيئي)
Elasmobranchs	أسماك ذات خياشيم مصفحة
Evaporation	تبخير
Extraactive Model	نموذج استخراجي

F

Ferro- Cemento	خرسانة مسلحة

H

(High-Voltage Alternating Current (HVAC	تيار متردد عالي الجهد
(High-Voltage Direct Current (HVDC	تيار ثابت عالي الجهد
Homoeostasis	توازن مع المحيط البيئي

I

Industrial Revolution	ثورة صناعية
Inflatable Structures	منشئآت منفوخة

L

Linear Solutions	حلول خطية
Linen Fibres	ألياف كتان

Lithops	نبات شبيه الحجر
Lithosphere	غلاف صخري
Low-Energy	طاقة منخفضة

M

Marine ecosystems	توازن بيئي بحري
Melanophila Acuminata	خنفساء اللحاء
Millennia	الألفية
Moluscs	رخويات
Mountain Ash	شجرة غبيراء الحابلين

N

Nature	طبيعة
Naval Architecture	عمارة البحار

O

Ocotea foeten	شجرة الغار

P

Photovoltaic (PV) Solar Farm	حقول خلايا الضوء الشمسي
Planar Surfaces	أسطح إنشائية مستوية
Ploceus Cucllatus	طائر النساج
Pneumatic Structures	منشئآت هوائية
Polygons	عجينة بوليمر مرنة

R

Radiation	إشعاع
(Rapid manufacturing (RM	تصنيع سريع
Reciprocating Structures	هياكل تعاضد إنشائي
Reefs	شعب مرجانية
Reptile	زاحف

S

Seashells	قواقع بحريية
Shark	سمك القرش
Shell-lace Structure	بناء قشري مثقب
Shells	أصداف
Skeletons	هياكل عظمية
Spider Webs	شباك بيوت العناكب
Stresses	إجهاد
Sustainable	مستدام

T

Tension Structures	منشآت الشد
Termite Mounos	تلال النمل الأبيض
Thermo Wood	خشب معالج حراريا
Tilapia Fish	سمك البلطي
Trigonopsis	دبور الطين

V

Vascular Tissue	نسيج وعائي
Velcro	شريطط فيلكرو للتثبيت
Vulture›s metacarpal	تشريح عظام طرفية لجناح النسر

W

Warren Truss	جائز وارن
Wasp	دبور
Wastes	نفايات
Wood Pulp	لحاء الخشب

كشاف الموضوعات

ت

ج

ح

ن

هـ

حقوق الصور

Atelier Ten, 90, 98
Iwan Baan, 22
Bill Bachman, 95
Marks Barfield, 28
BioPower Systems Pty Ltd., 104
Toby Burgess, 69
Culmann and J. Wolff, 14
Cynoclub, 54
Daimler AG, 7–8, 31–32
Vicente del Amo, 5
Martin Dohrn, 55
Georgette Douwma, 105
Exploration, 11, 23, 57–58, 63, 91, 94
Exploration Architecture Limited, 38, 72
Eye of Science, cover, 9, 21, 117
Fotolia, 101
FLC/ADAGP and DACS, 4
Vaughan Fleming, 99
Fstockfoto, 59
Future Systems, 33
Gottlieb Paludan Architects, 106
Kari Greer, 116
Grimshaw, 24–25b, 37, 74, 82
Steve Gschmeissner, 1, 88
S.D. Guest and S. Pellegrino, 44
Gert Jan Hageman, 75
Andreas Harris, 27
Henschel and Jocqué, 35
Ken M. Highfill, 60
Hoberman Associates, 46–48
The HOK Planning Group, 83
George Holton, 110
Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren ILEK, 26
Interface, 114–115
Kevin Jarratt, 13
Judit Kimpian, 39–40
Aron Kohr, 78
Dennis Kunkel Microscopy, Inc., 53
Magnus Larsson, 65
Maceo, 12
Claus Matheck, 30
NASA, 100, 107
Susumu Nishinaga, 62, 85
Duncan Noakes, 93
Claude Nuridsany & Marie Perennou, 45
Yoshiharu Matsumura, 17
Matthew Oldfield Photography, 70
Rubik Oleg, 6
Yaniv Peer & Filippo Privitali, 76
Sergio Poretti, 20
Power and Syred, 87
O. Prochnow, 16
Bogo Rasch, 49
Dr Morley Read, 34
Steffen Reichert and Prof. Achim Menges, 66–67
Reid & Peck, 51
RIBA Library Photographs Collection, 3, 36
Professor A. Robinson, 15
Paolo Rosselli, 29
Paula J. Rudall, 61
The Sahara Forest Project Foundation, 108
Seawater Greenhouse Ltd., 80–81
Sebtoja, 50
Scott Sinklier, 77
Tanja Soeter, 64
Steve Speller, 41–43
Joanne Stemberger, 86
Ezra Stoller, 2
Barbara Strnadova, 109
Joseph Subirana, 103
Jerry Tate Architects, 92
Barney Taxel, 84
Kenneth H. Thomas, 56
Tonkin Liu Architects, 18–19, 112–113
Travel The Unknown, 68
Masa Ushioda, 102
Nick Veasey, 10
Vyonyx, 111
Danny Wicke, 73
Wilkinson Eyre Architects, 97
Uwe Wittbrock, 71
Woodland Burial Parks, 52
Alejandro Zaera-Polo and Farshid Moussavi, 89
Solvin Zankl, 79

ملاحظة:

قام المؤلف والناشر ببذل كل الجهد للتواصل مع أصحاب الحقوق، وفي حالة التنويه عن خطأ أو إهمال فإن المؤلف والناشر سيقومان بتصحيحه في النسخ القادمة من الكتاب.

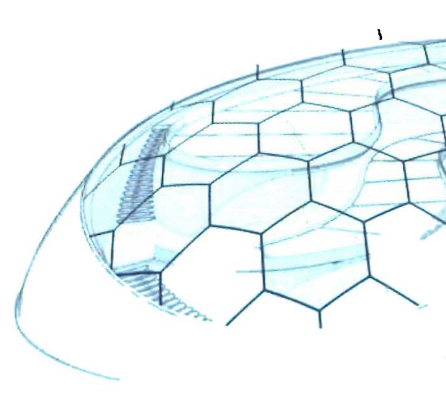
ميشيل باولن: بكالوريوس علوم، بكالوريوس عمارة، زميل المعهد الملكي للمعماريين البريطانيين. يعمل حاليا مديرا لشركة استكشاف العماره المحدودة، حيث يركز على تصميم مشاريع مستدامة بيئيا من وحي الطبيعة، وعمل قبل ذلك لمدة عشر سنوات في شركة جريمشاو وكان عضوا مهما في فريق التصميم الذي أعاد صياغة عمارة الحدائق لمشروع عدن، وكان الرجل المسؤول الذي قاد عمليات تصميم مجمع محاكاة البيئة الحارة الاستوائية والبيئة الرطبة الاستوائية والمراحل اللاحقة. حاضر عن التصميم المستدام داخل المملكة المتحدة وخارجها.

د. محمد بن سعيد العيسان الغامدي : عضو هيئة التدريس بكلية العمارة والتخطيط بجامعة الملك سعود، تلقى تعليمه في كل من الولايات المتحدة الأمريكية وكندا والمملكة المتحدة، فقد حصل على درجة الماجستير من جامعة مك قيل بكندا ودرجة الدكتوراه من جامعة نيوكاسل بالمملكة المتحدة، يزاول التدريس والإشراف على بحوث ودراسات عليا في مجال التحكم البيئي ومحاكاة الطبيعة والعمارة المستدامة. مارس العمل المهني في مجال التصميم البيئي وإدارة المشاريع داخل المملكة العربية السعودية وخارجها.

ة العمارة والتصميم المستدام، ومنذ أمد بعيد والطبيعة مرجع
محاكاة الطبيعة تذهب إلى أبعد من ذلك، إنها لا تستلهم من
وظائف المدهشة والتقنيات التي ساعدت الحيوانات والنباتات

نكار ويبحث إمكانية تطبيقها في عالم الحقيقة -بدءاً بكفاءة
فرية النفايات، واستخدام المياه، والبيئة الحرارية، وإمداد
بأمثلة- تتراوح من العناكب وجلد سمك القرش إلى الشعاب
تناول الأسرار التقنية المدهشة والتحويرات التي يمكن عملها،
سرة.

مارة مقدمةً لفكرة ثورية، وكتاباً مرجعياً لحلول تصميمية
ـ ومستدام.



www.ksu.edu.sa

محاكاة الطبيعة في العمارة

تأليف: Michael Pawlyn

ترجمة: د. محمد بن سعيد العيسان الغامدي

١٤٣٧هـ
2016

محاكاة الطبيع

تأليف: Michael Pawlyn

ترجمة: د. محمد بن سعيد العيسان الغامد

دار جامعة
الملك سعود للنشر
king saud university press